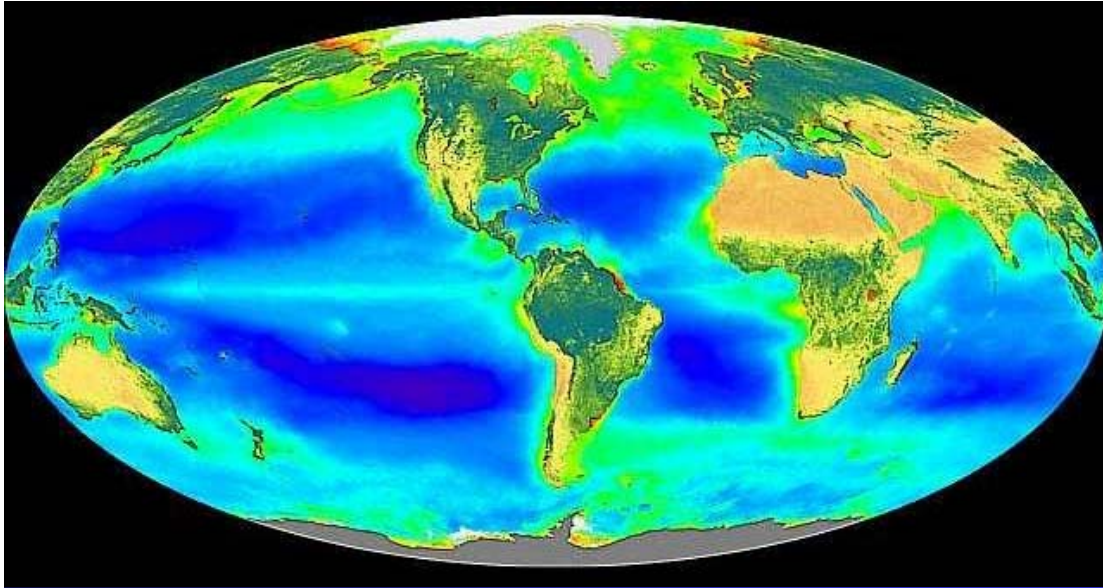




EVIDENCIAS Y EFECTOS DE LOS CAMBIOS GLOBALES SOBRE EL OCÉANO

Emilio Fernández

Universidad de Vigo

VISIT...

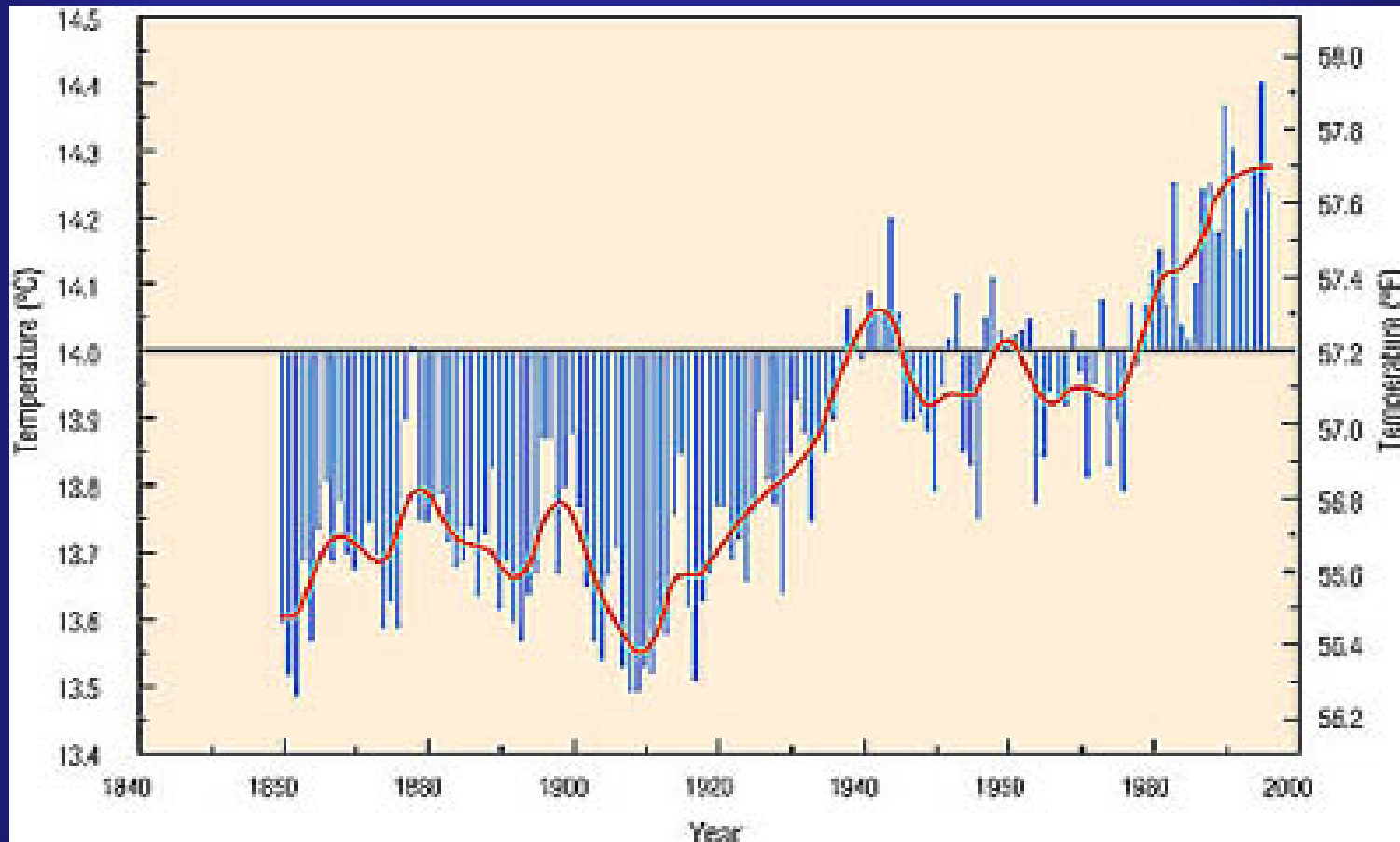
LANZAROTE
Caliente.COM

ESQUEMA DE LA EXPOSICIÓN

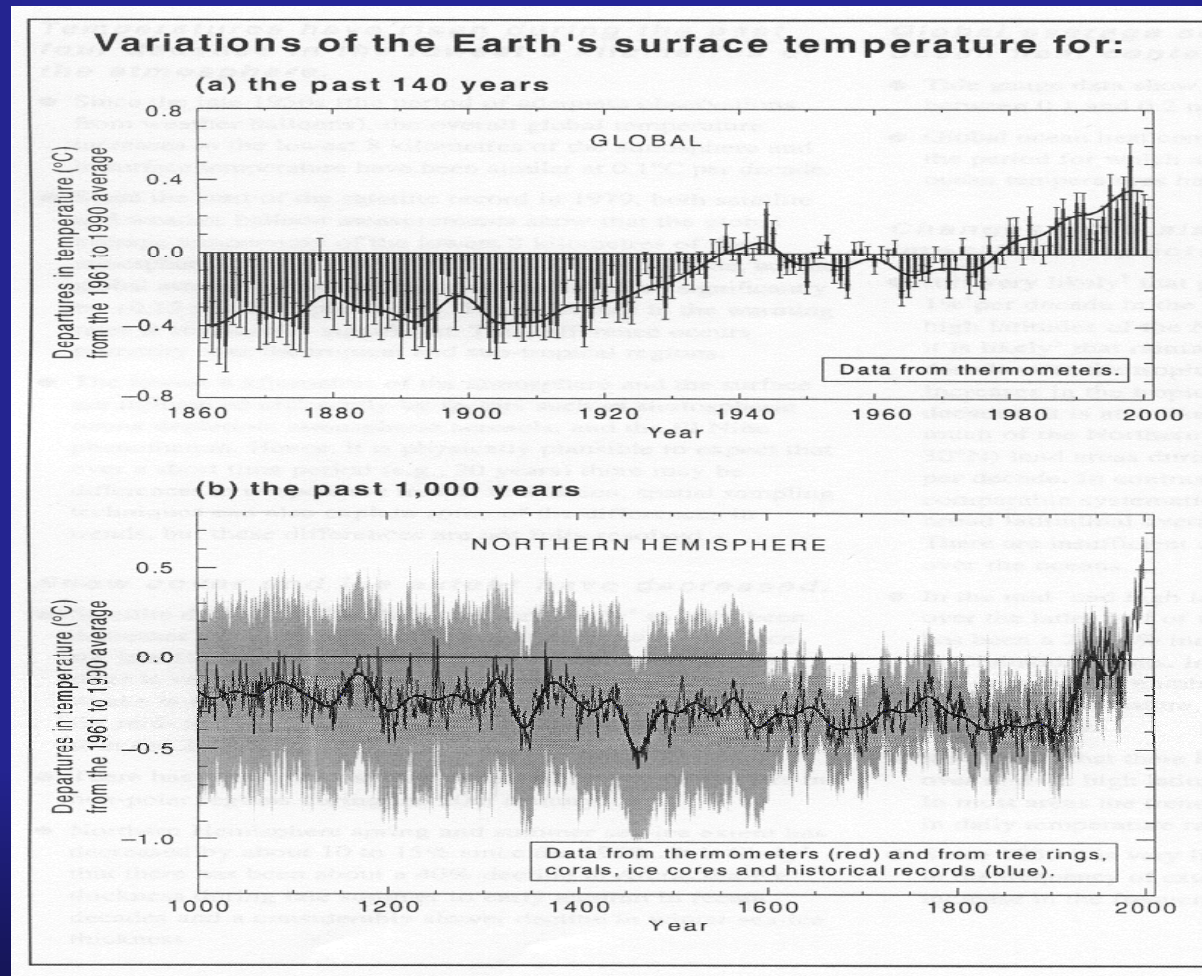
- ΔCO_2 y calentamiento global
- Calentamiento del océano
- Aumento del nivel del mar
- CO_2 antropogénico
- Cambios en los patrones de fertilización
- Cambios en las comunidades marinas

Calentamiento atmósfera

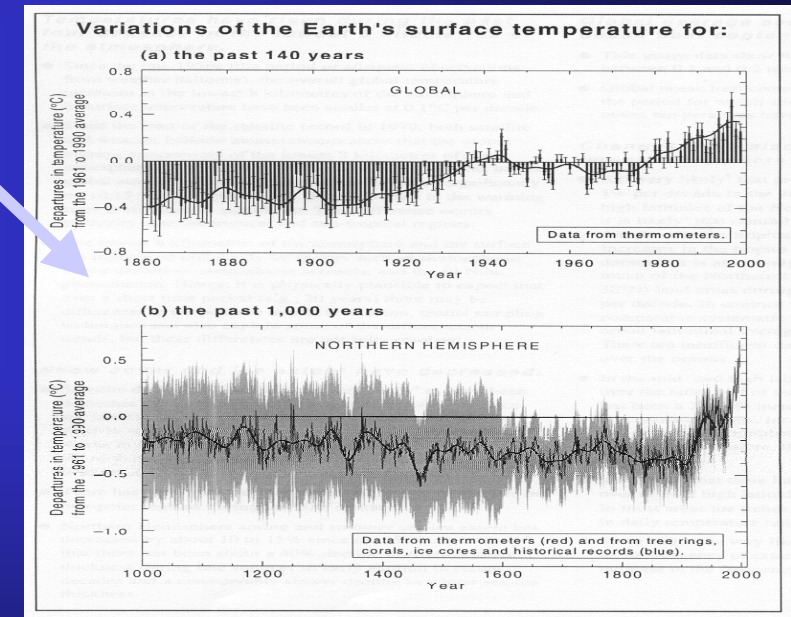
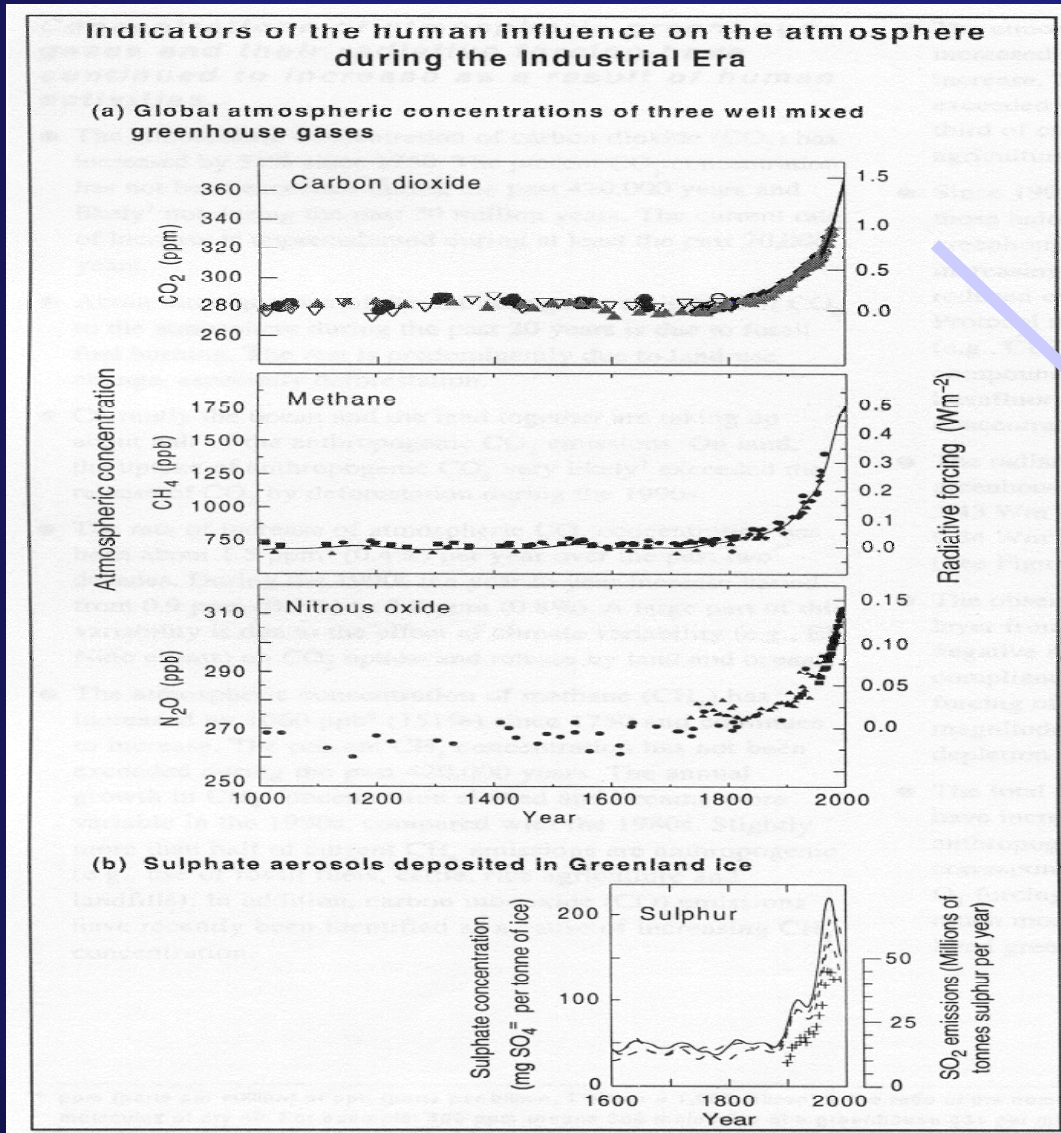
La temperatura de las capas inferiores de la atmósfera ha aumentado a lo largo del siglo pasado



La temperatura de las capas inferiores de la atmósfera es la más elevada del milenio



El calentamiento de la atmósfera está correlacionado con el incremento de la concentración de ciertos gases

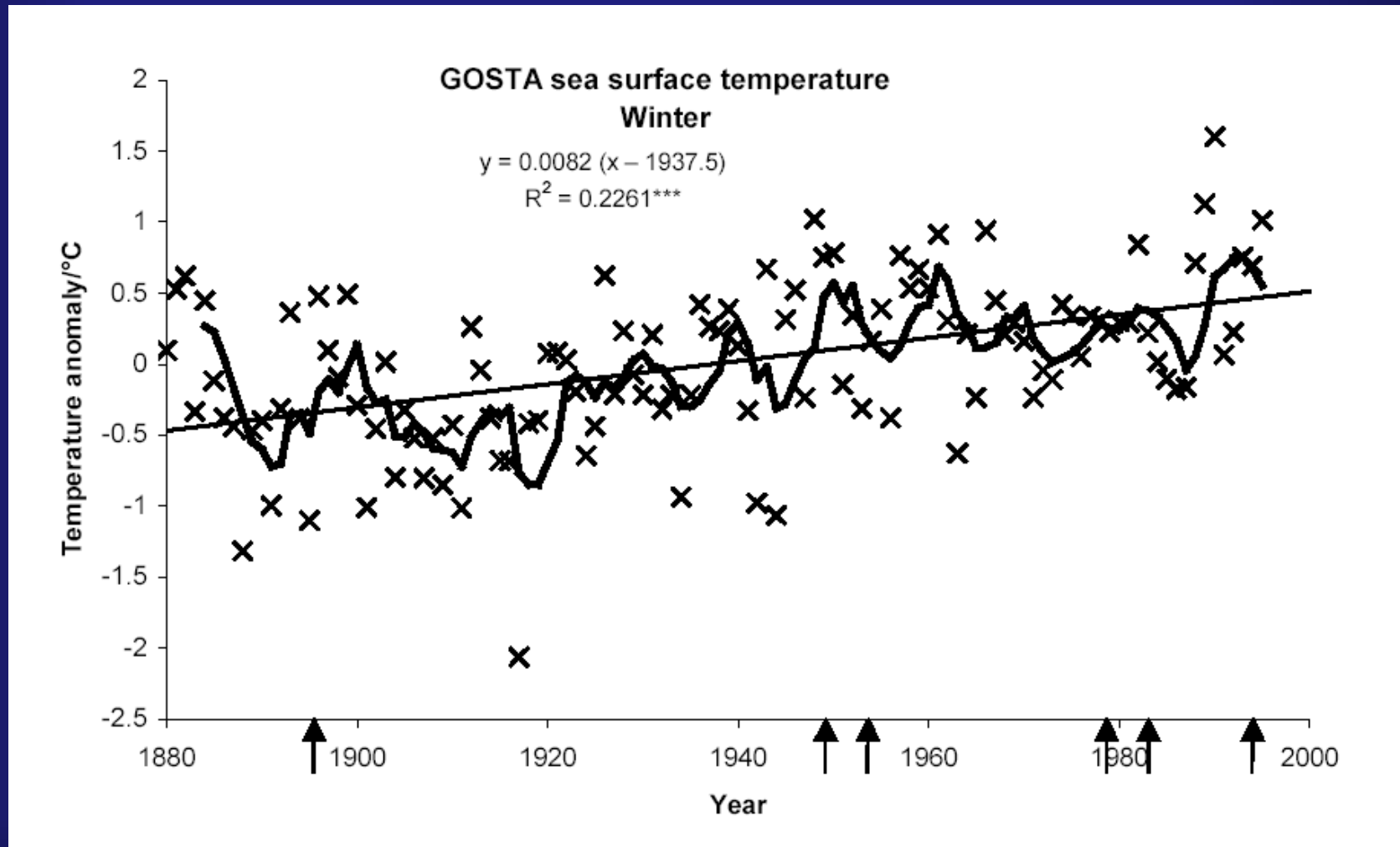


Calentamiento océano

ESQUEMA DE LA EXPOSICIÓN

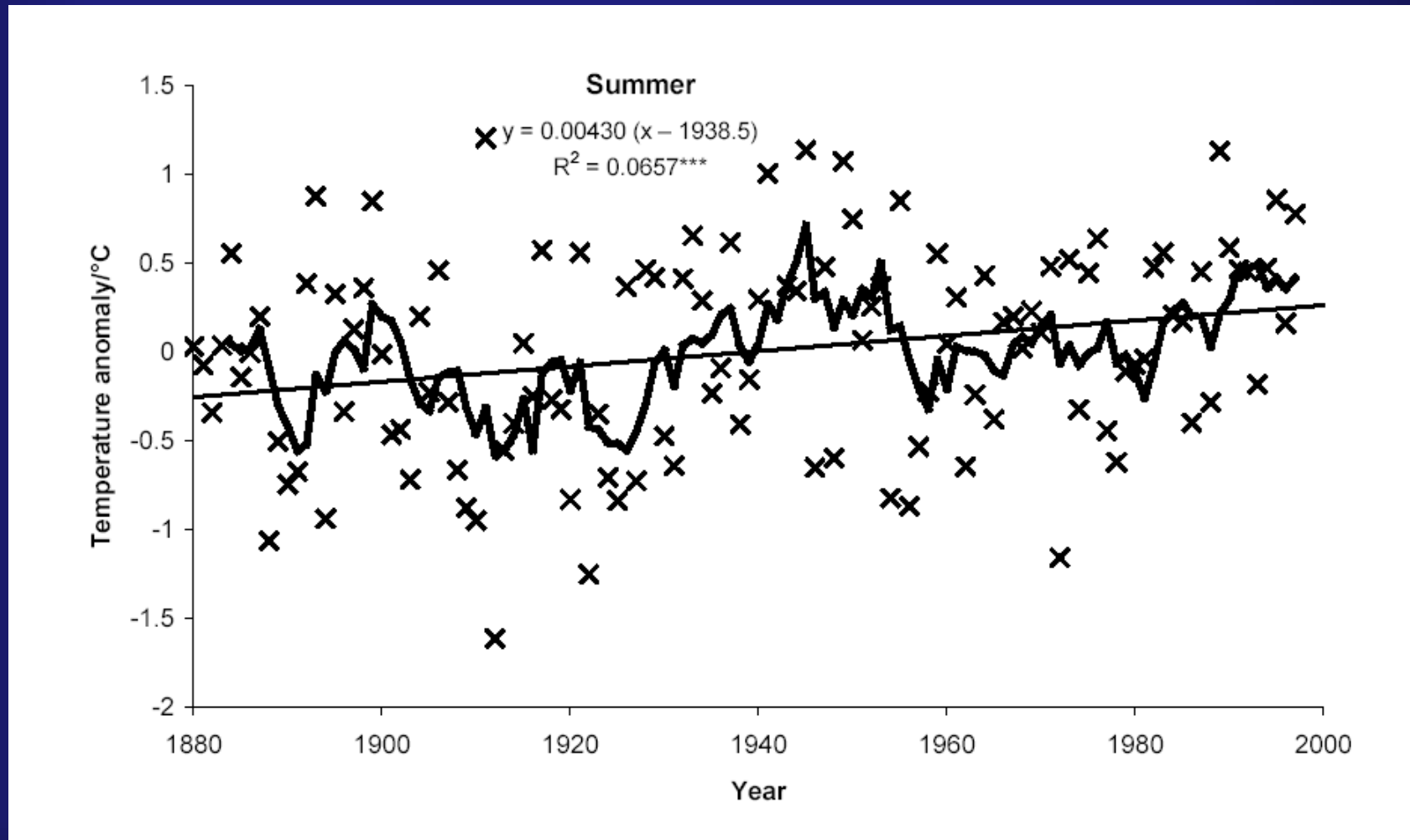
- ΔCO_2 y calentamiento global
- **Calentamiento del océano**
- Aumento del nivel del mar
- CO_2 antropogénico
- Cambios en los patrones de fertilización
- Cambios en las comunidades marinas

Las series temporales de las temperaturas de invierno en el Golfo de Vizcaya indican un calentamiento de 0.82 °C por siglo

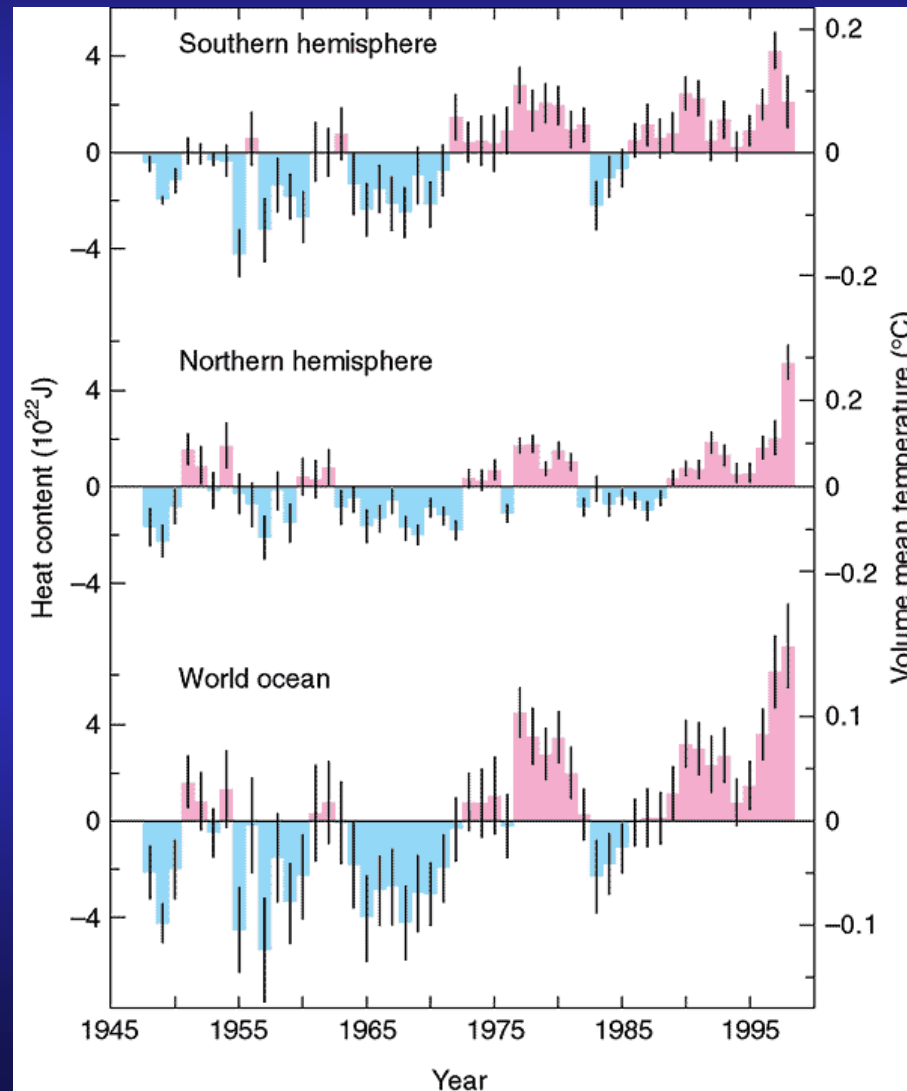


Alcock (2003)

Las series temporales de las temperaturas de verano en el Golfo de Vizcaya indican un calentamiento de 0.4 °C por siglo

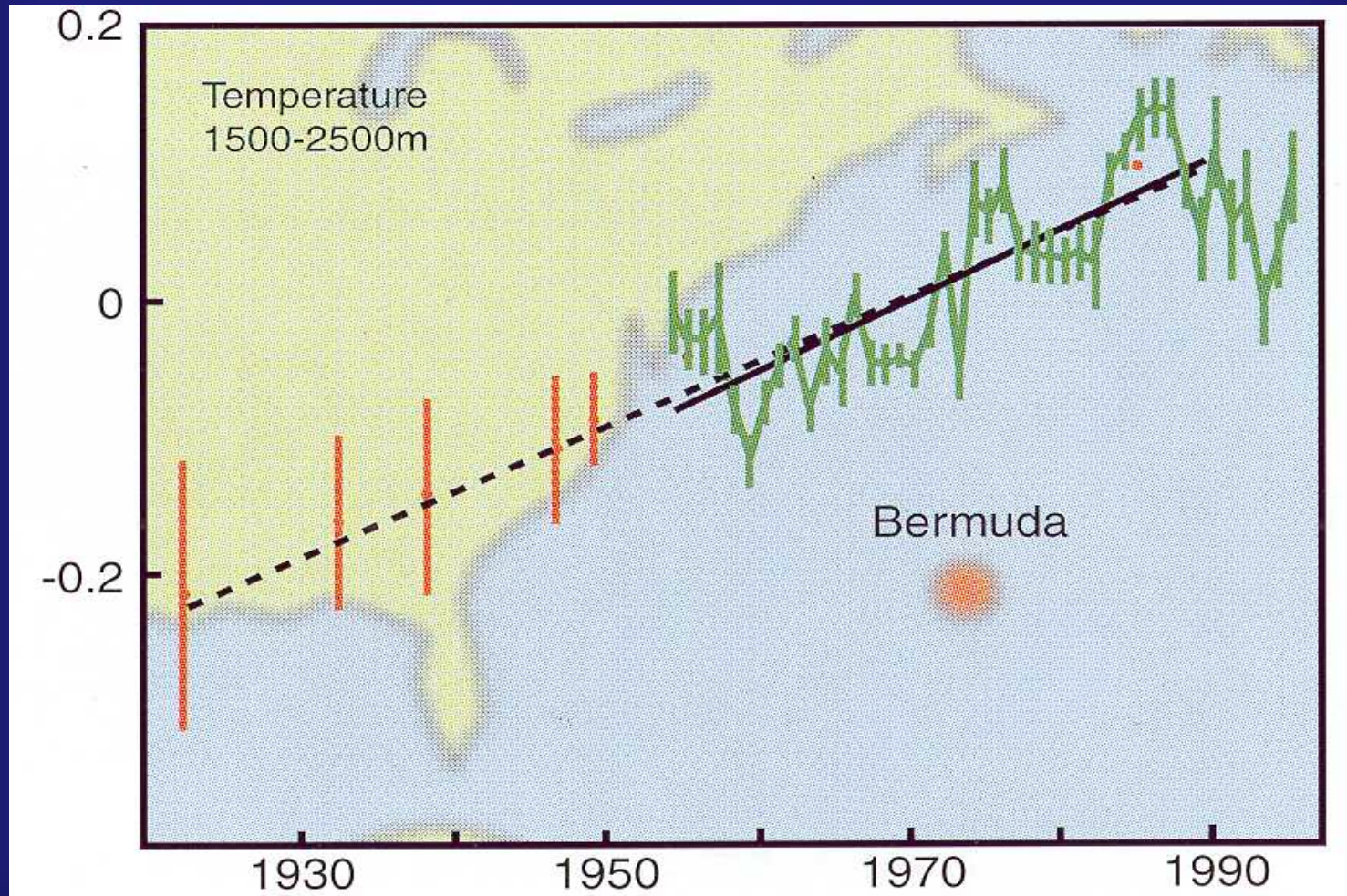


El contenido en calor del océano superficial ha aumentado 2×10^{23} J desde 1955, lo que representa un calentamiento de 0.04 °C/década



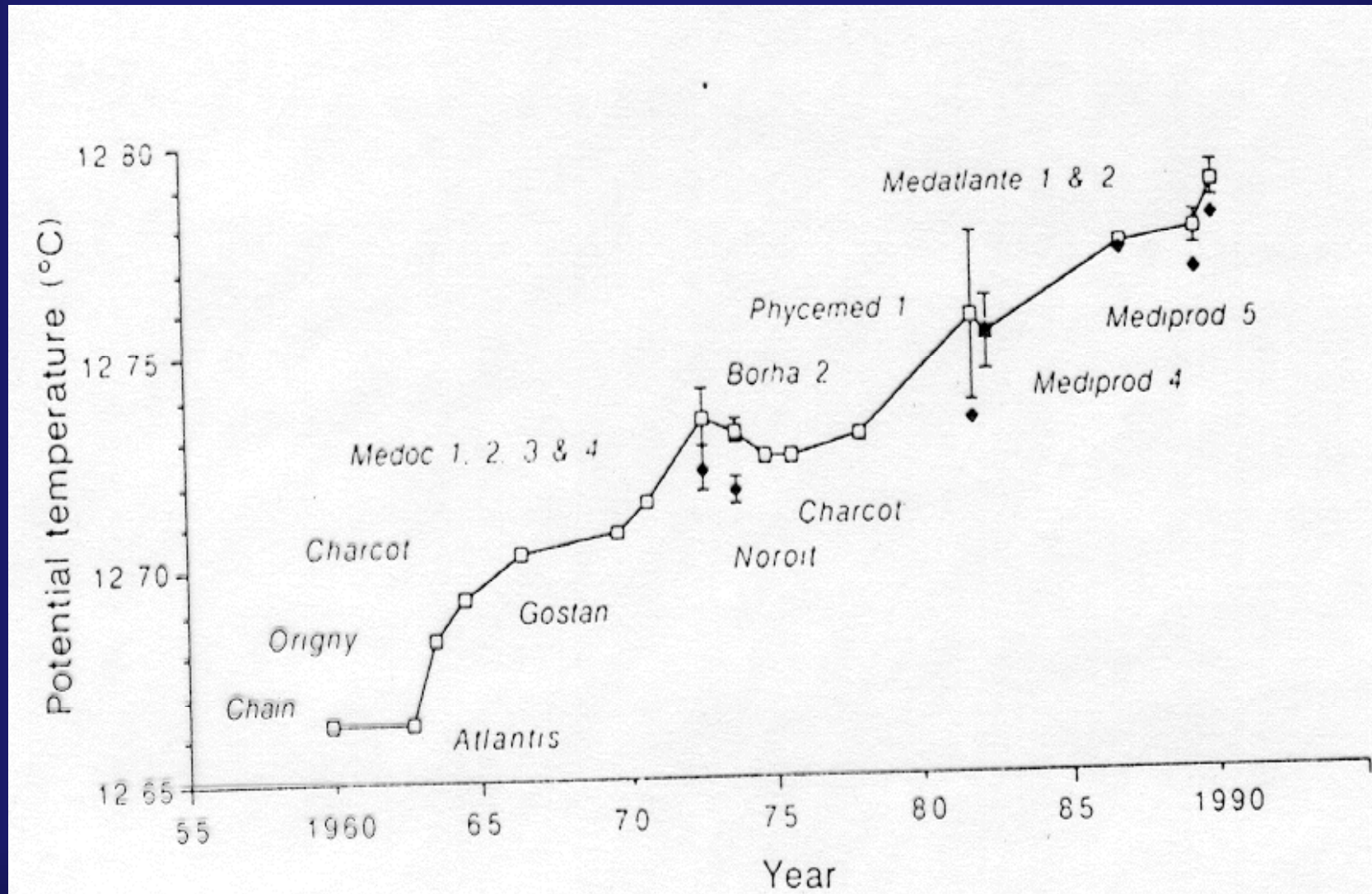
Levitus et al. (2000)

El océano profundo también se calienta

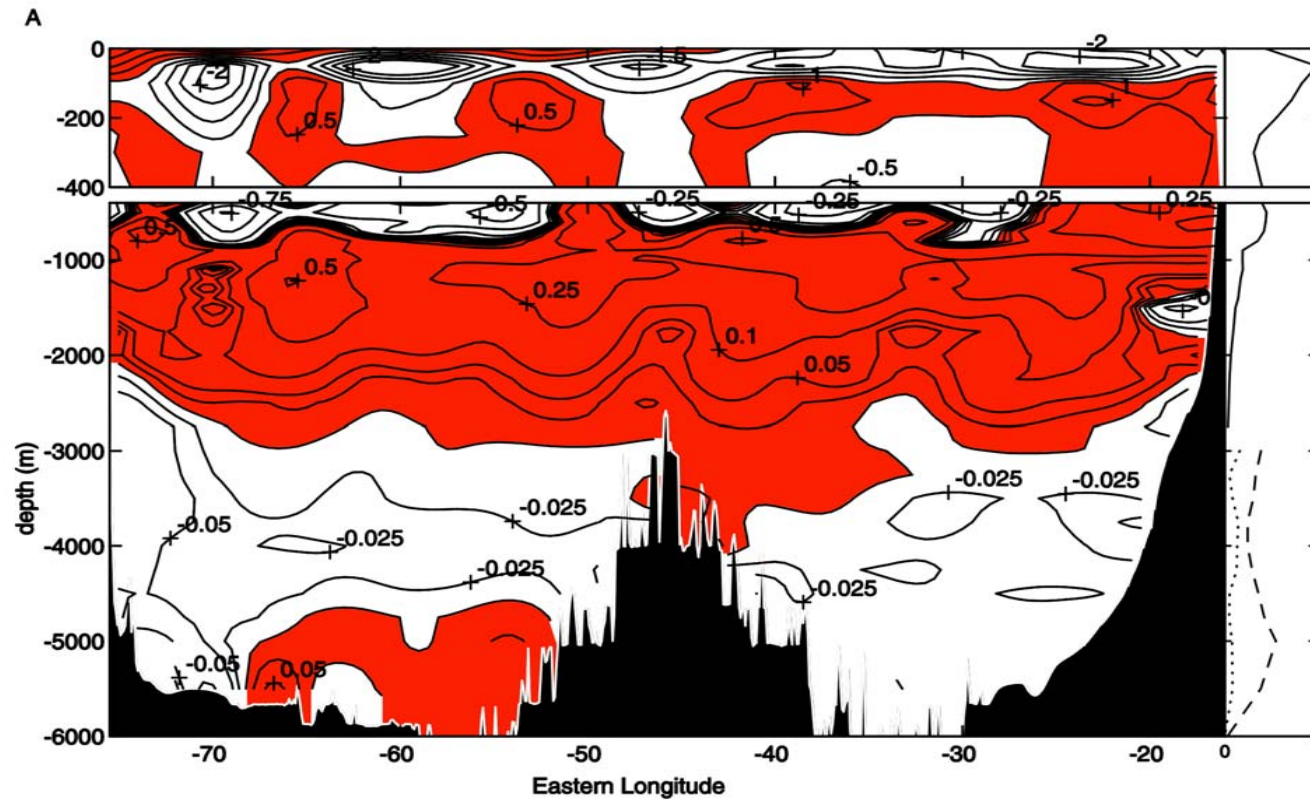


Joyce y Robins (1996)

El océano profundo también se calienta



El océano profundo también se calienta



Parrilla et al. (1994)

El contenido en calor del océano ha aumentado en los 3000 m superiores

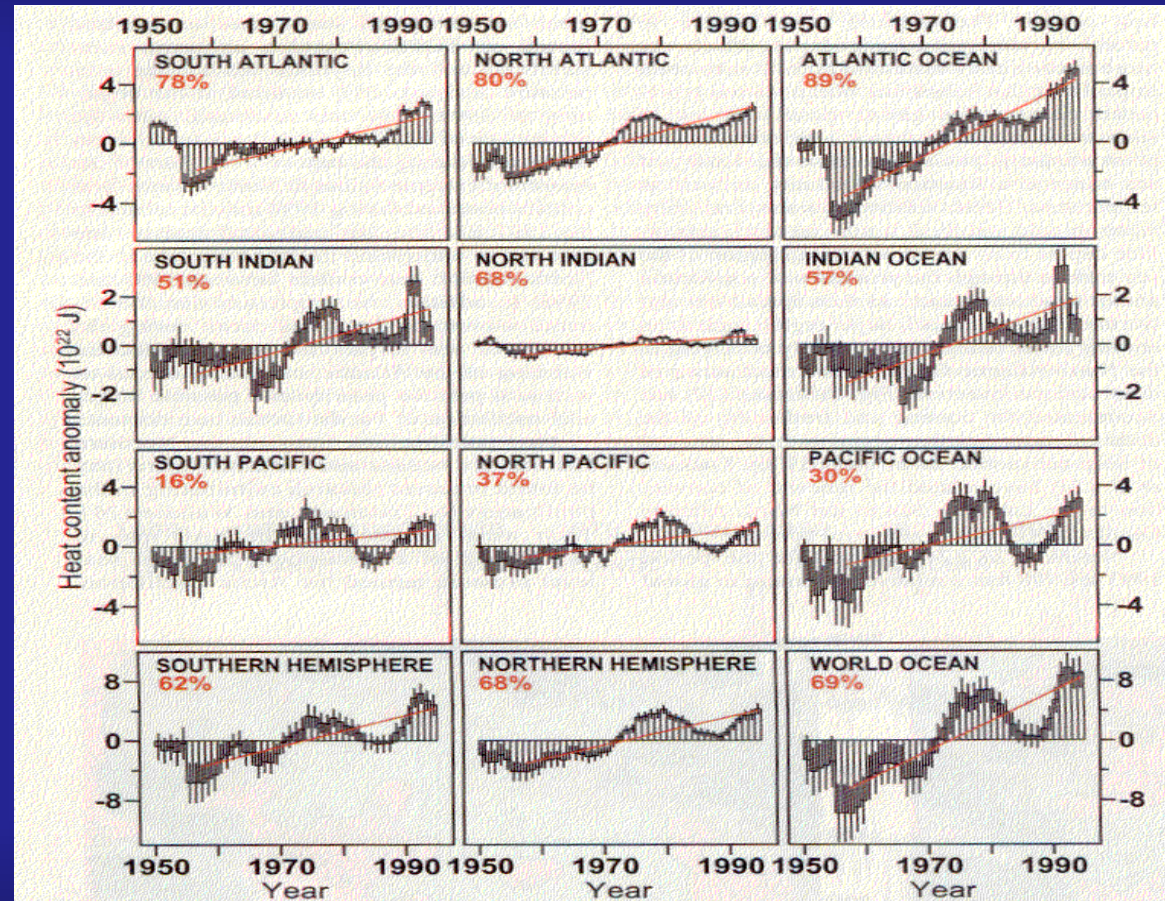
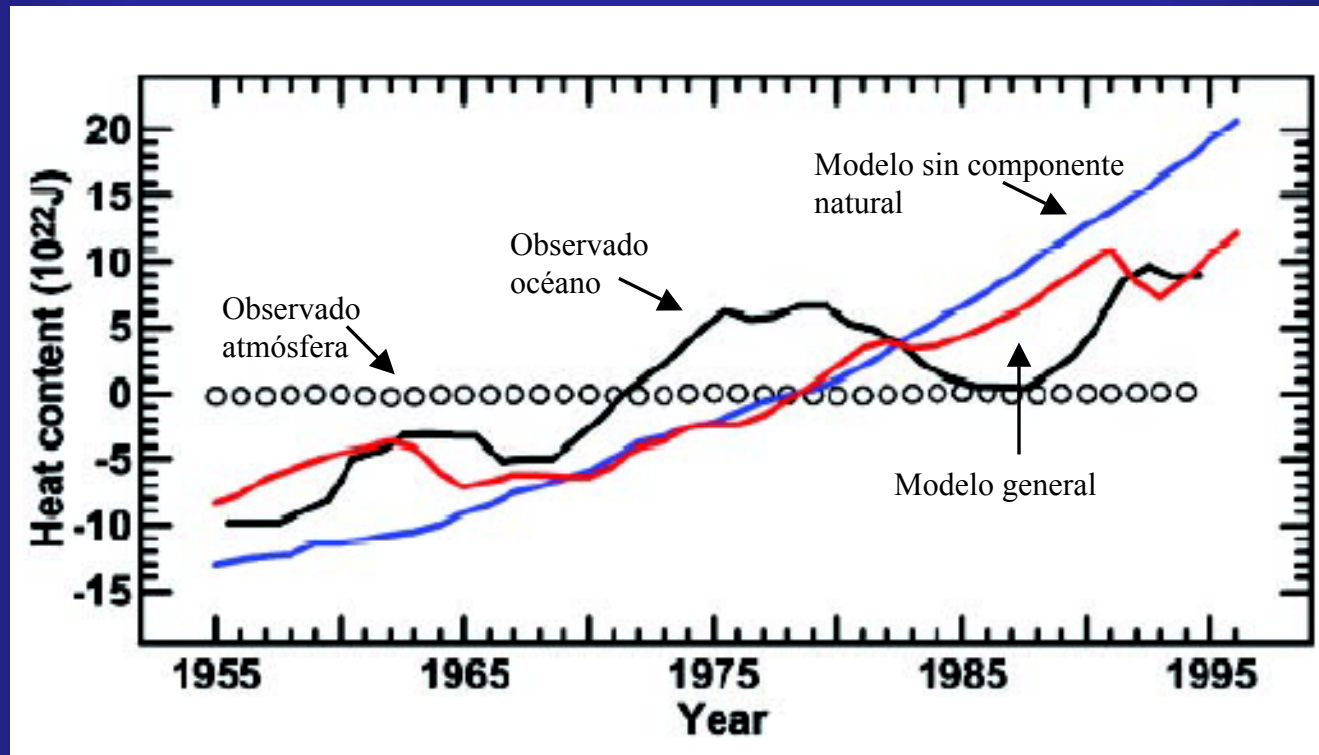


Fig. 4. Time series of 5-year running composites of heat content (10^{22} J) in the upper 3000 m for each major ocean basin. Vertical lines represent ± 1 SE of the 5-year mean estimate of heat content. The linear trend is estimated for each time series for the period 1955 to 1996, which corresponds to the period of best data coverage. The trend is plotted as a red line. The percent variance accounted for by this trend is given in the upper left corner of each panel. Expanded versions of these figures with equivalent volume mean temperature scales added can be viewed at [Science Online \(14\)](#).

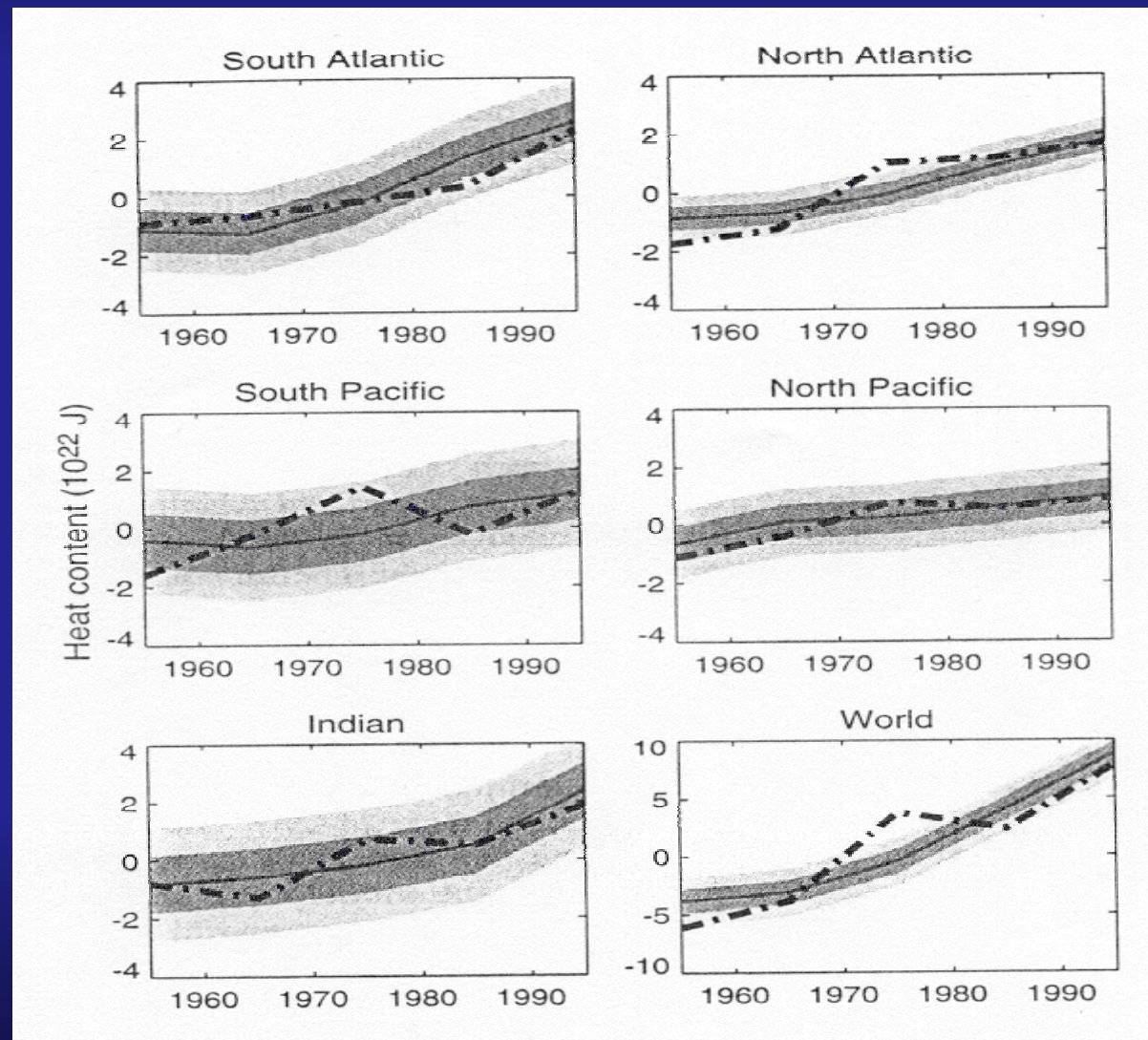
Levitus et al. (2000)

El contenido en calor del océano ha aumentado en los 3000 m superiores



Levitus et al. (2001)

Los modelos climáticos basados en las emisiones de gases invernadero reproducen las observaciones

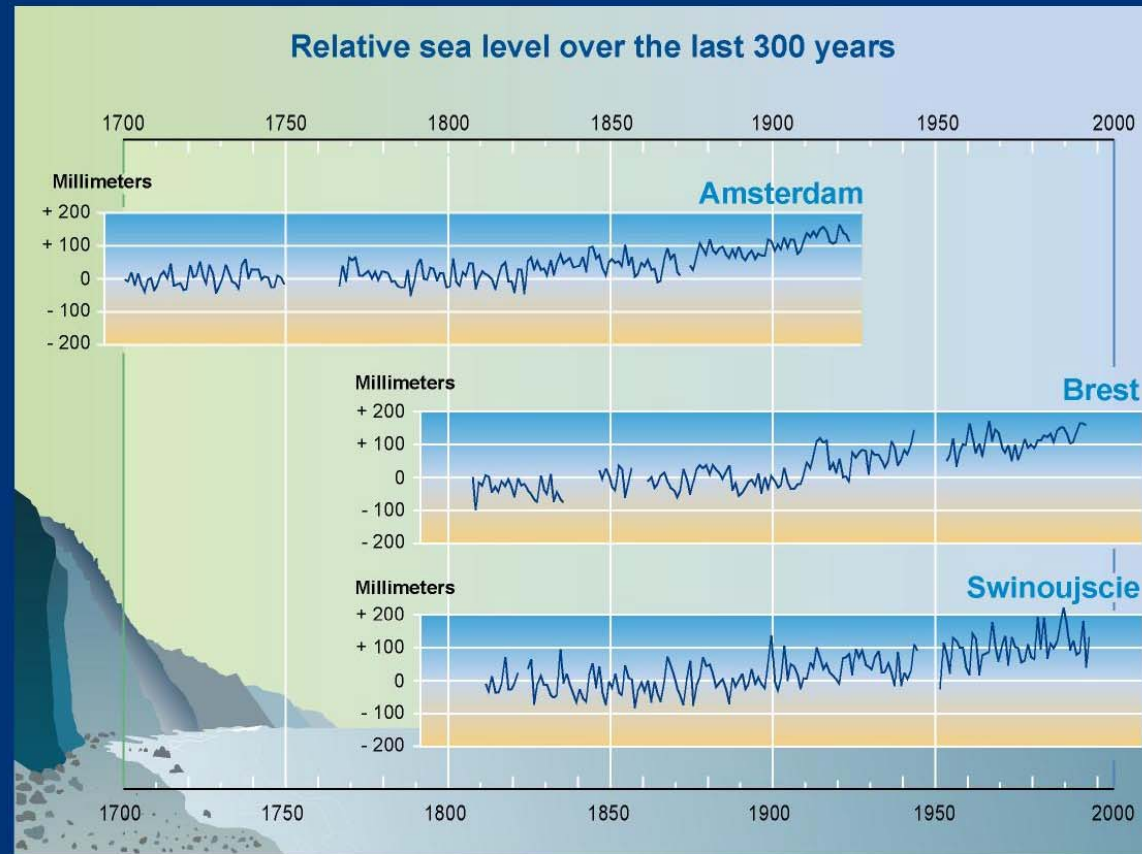


Nivel mar

ESQUEMA DE LA EXPOSICIÓN

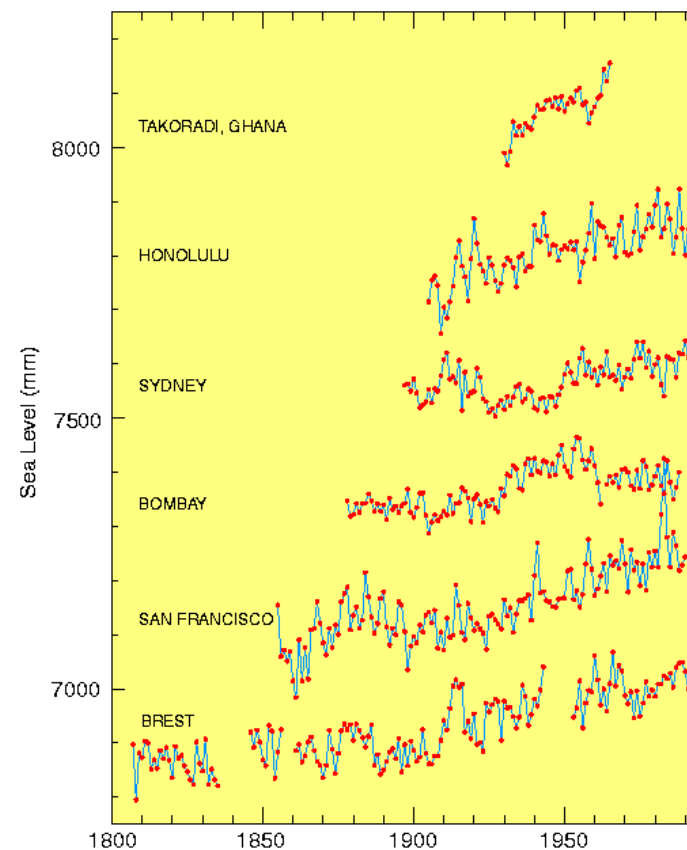
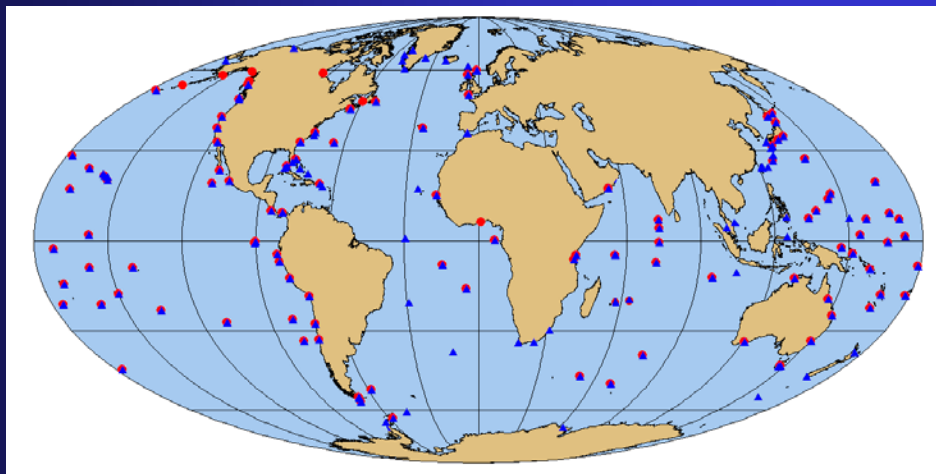
- ΔCO_2 y calentamiento global
- Calentamiento del océano
- **Aumento del nivel del mar**
- CO_2 antropogénico
- Cambios en los patrones de fertilización
- Cambios en las comunidades marinas

Los registros históricos europeos indican que el nivel del mar está ascendiendo

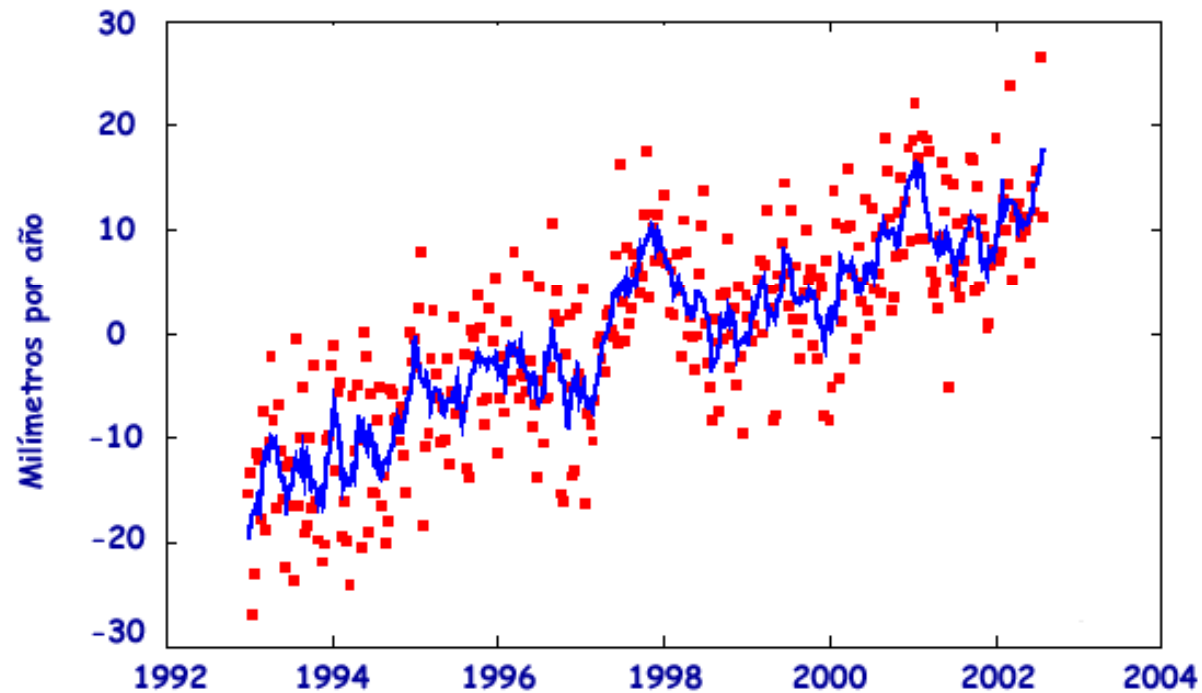


SYR - FIGURE 2-5

Los registros históricos indican que el nivel del mar ha subido 1-2 mm/año durante el siglo XX...

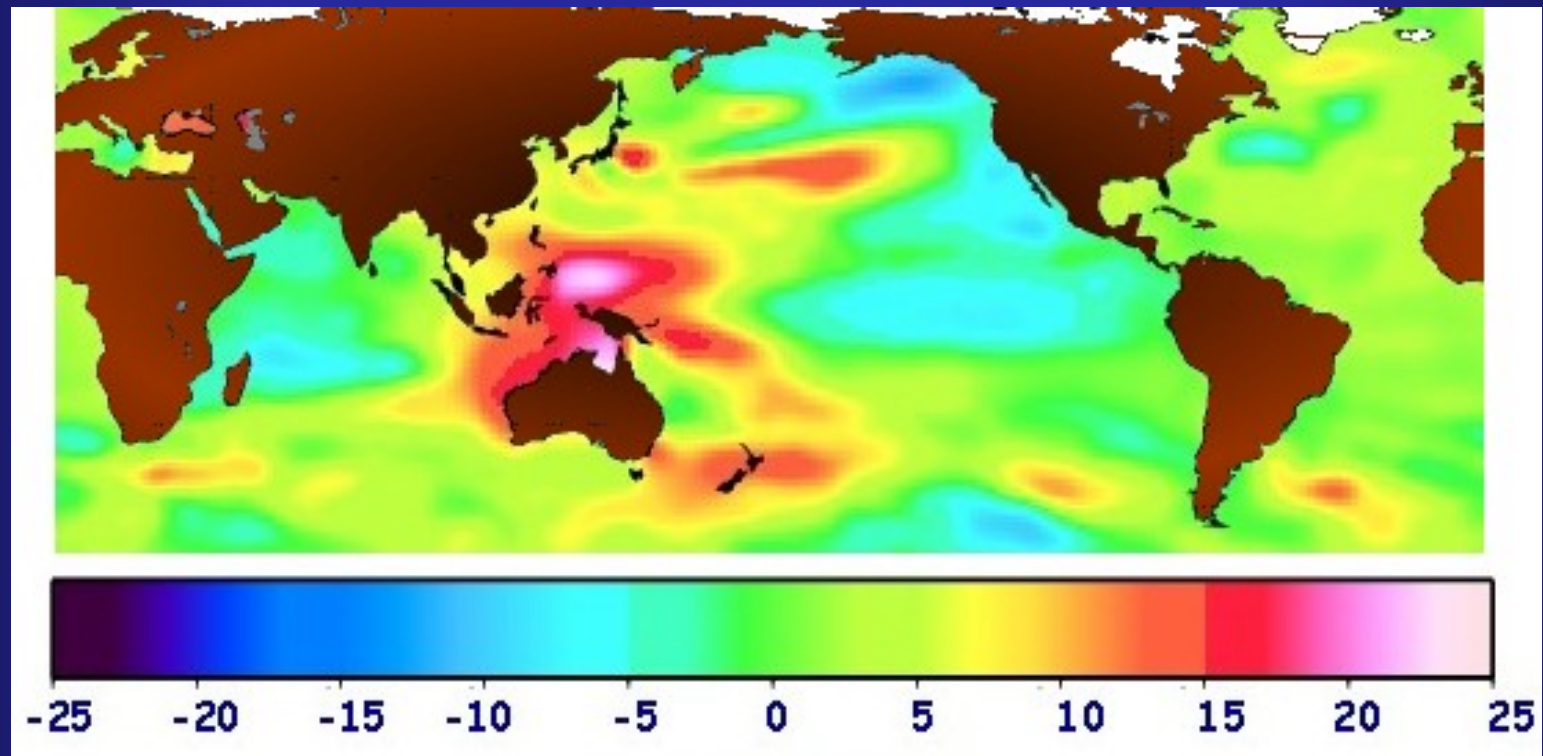


... y los datos recientes de satélite indican una subida de 1.4-2.5 mm/año durante 1993-2003



Variaciones del nivel del mar en mm/año según Topex-Poseidón. En puntos rojos, estimaciones cada diez días; en azul, curva suavizada de 60 días.

... pero el incremento no es homogéneo



mm/año

El nivel del mar aumenta por deshielo y por expansión térmica

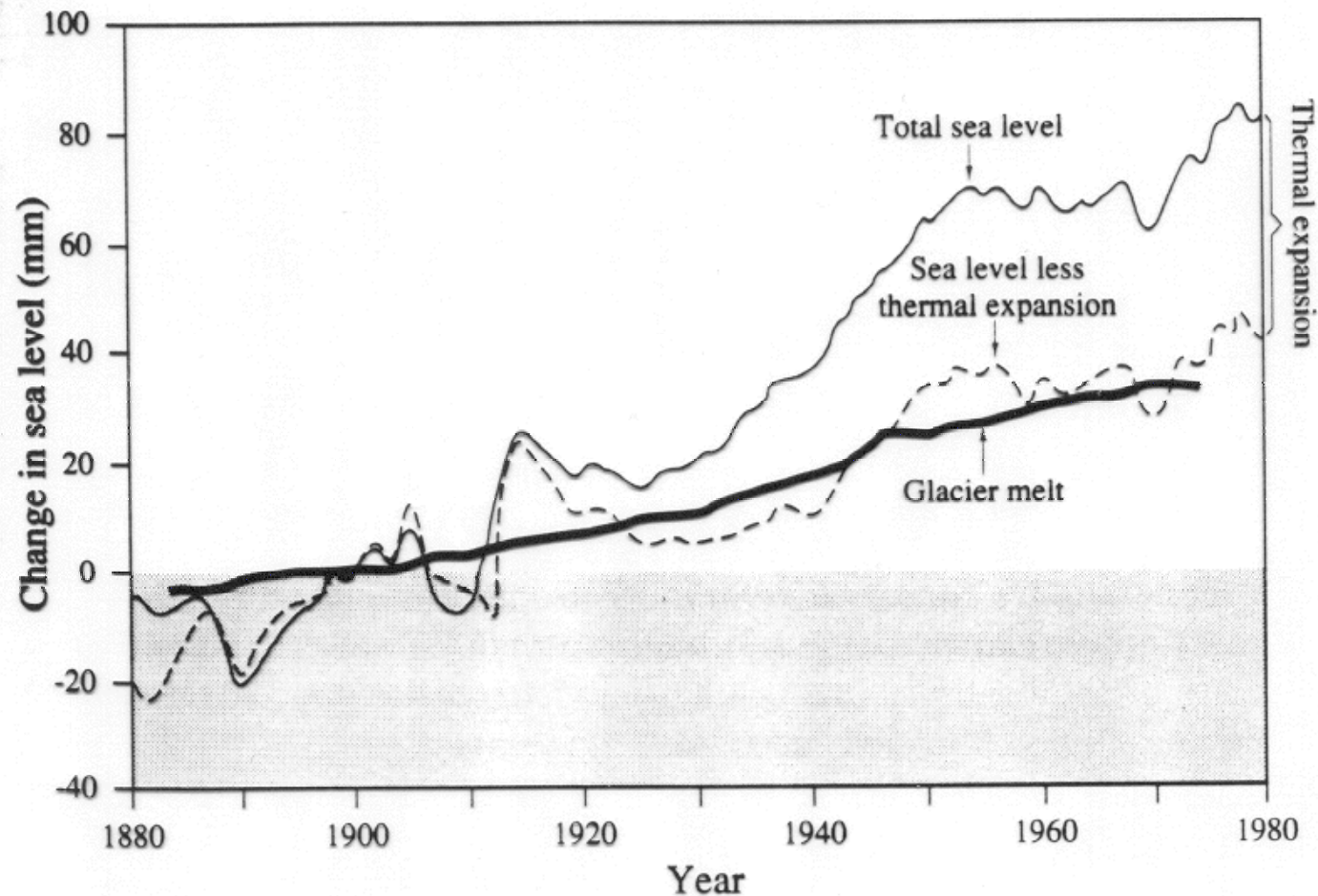
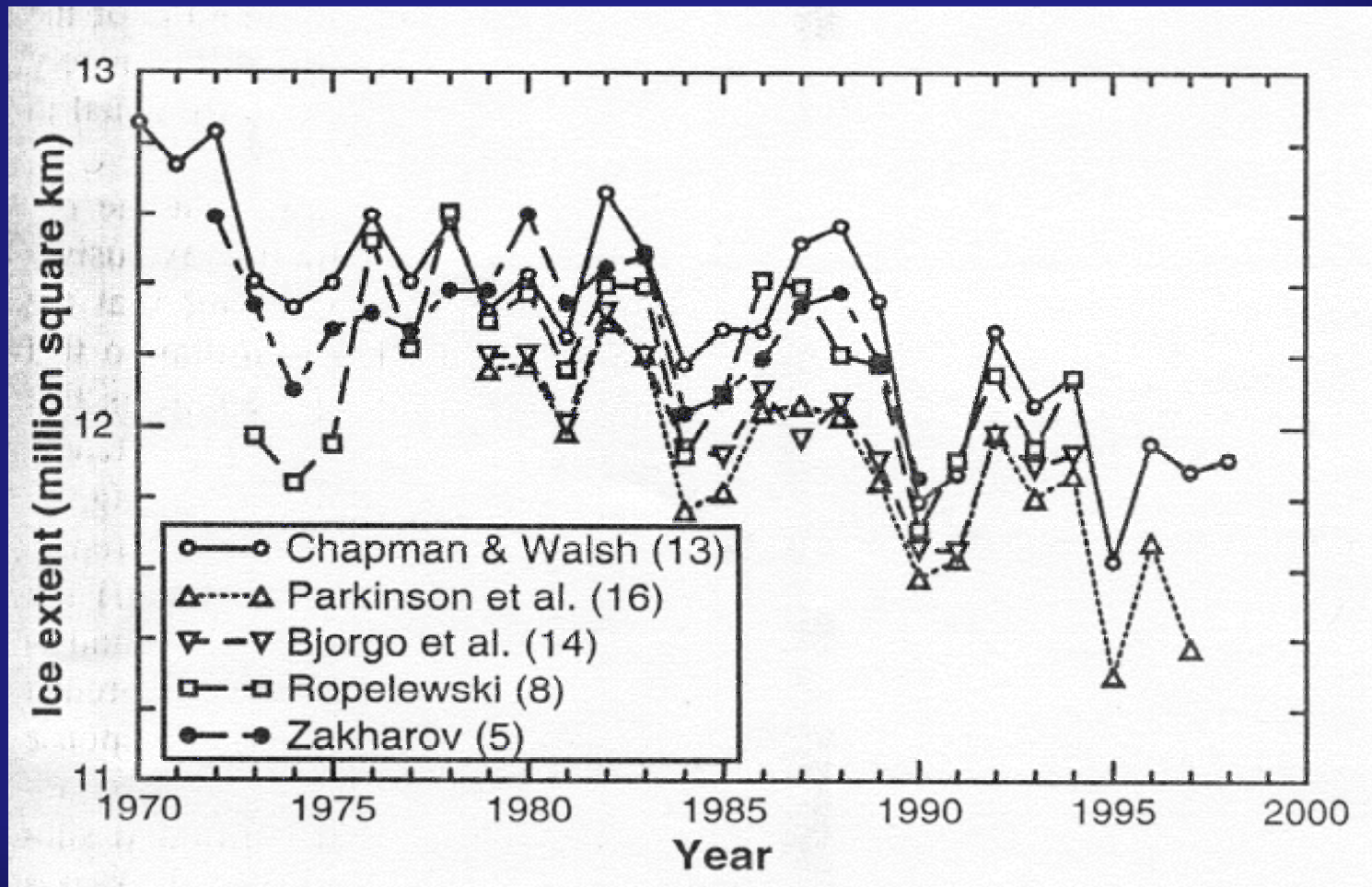
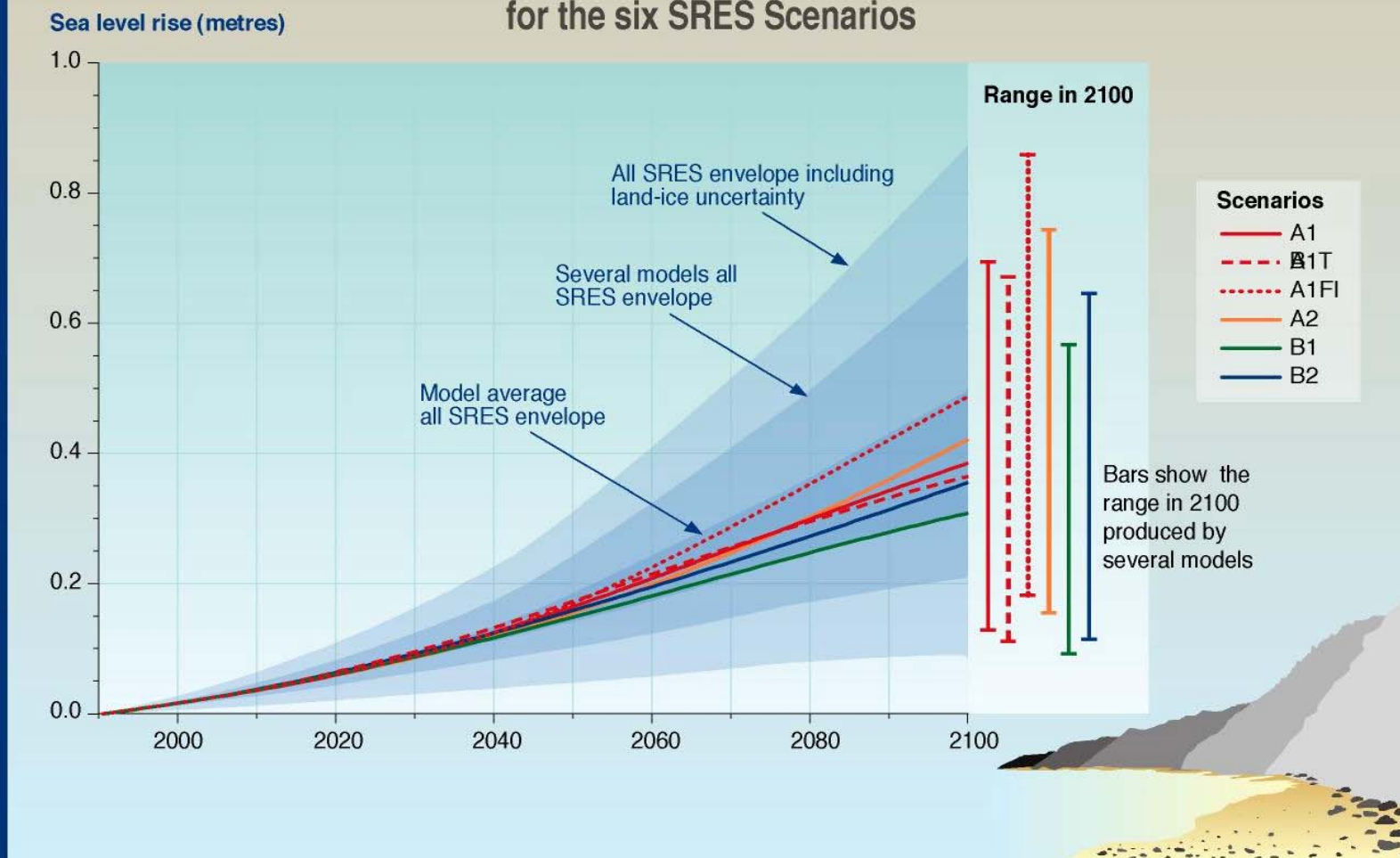


Figure 9.4 Change in sea level during the last century (Gornitz et al. 1982), indicating the proportion due to thermal expansion of the oceans and that due to melting of glaciers. From Jacobs (1986) after Meier (1984). Copyright 1984 by the AAAS.

La extensión del hielo en el hemisferio norte se reduce



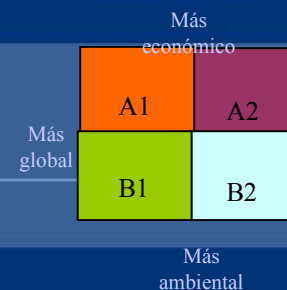
Global average sea level rise (1990 - 2100) for the six SRES Scenarios



WG1 TS FIGURE 24

IPCC

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

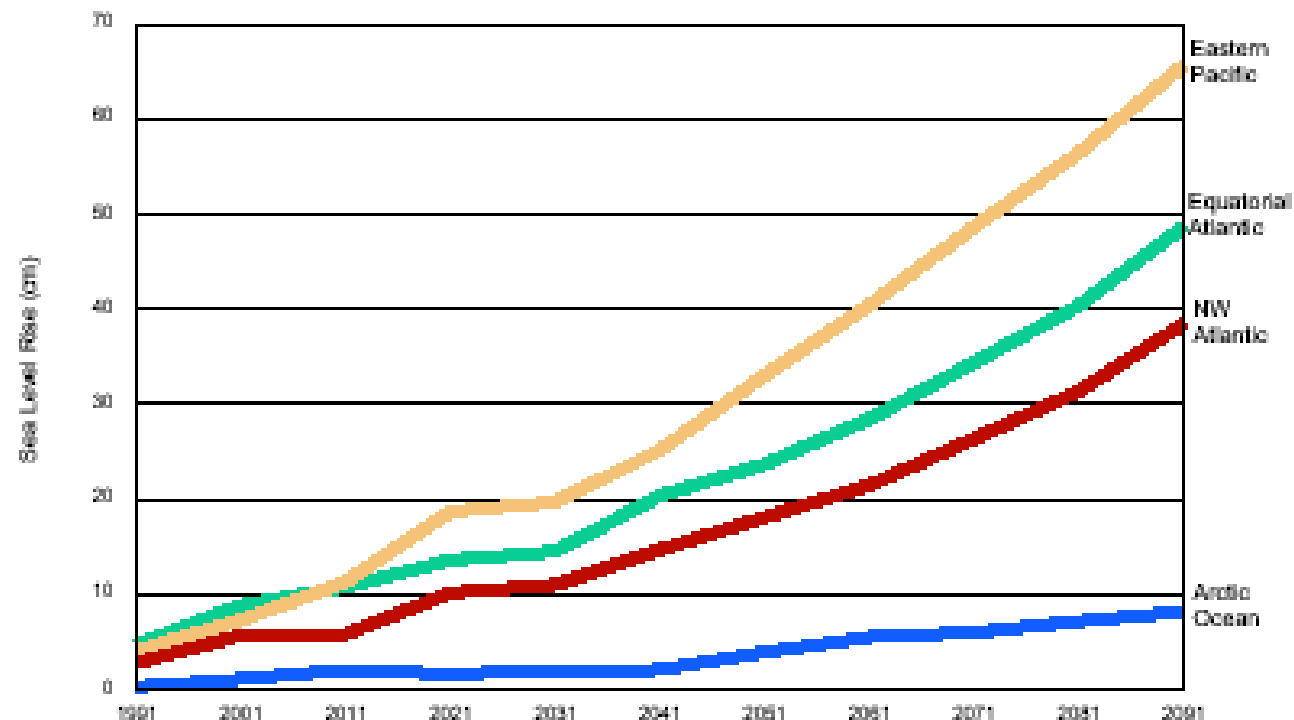


Más regional



La altura del nivel del mar no aumenta de forma uniforme

FIGURE 11
REGIONAL CHANGES IN SEA LEVEL



Sources: CCCma

Because of different rates of ocean warming and local changes in atmospheric pressure patterns, the rates of change in sea levels due to thermal expansion vary significantly from region to region.

Delta del Nilo



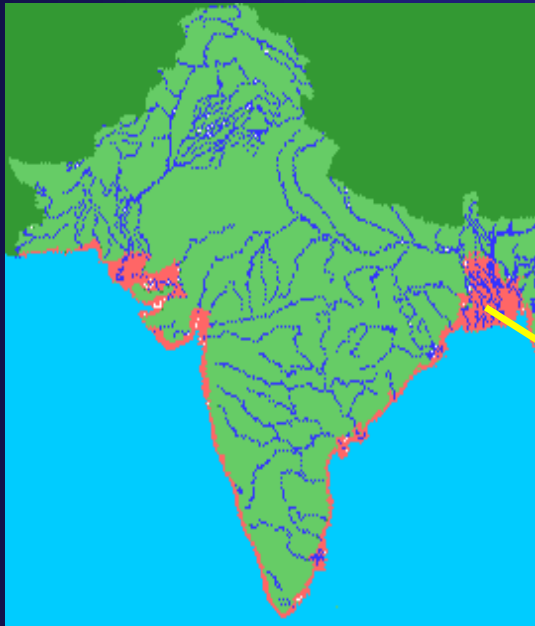
Delta del Nilo



Delta del Nilo



Bangladesh



Potential impact of sea-level rise on Bangladesh



Today

Total population: 112 Million

Total land area: 134,000 km²

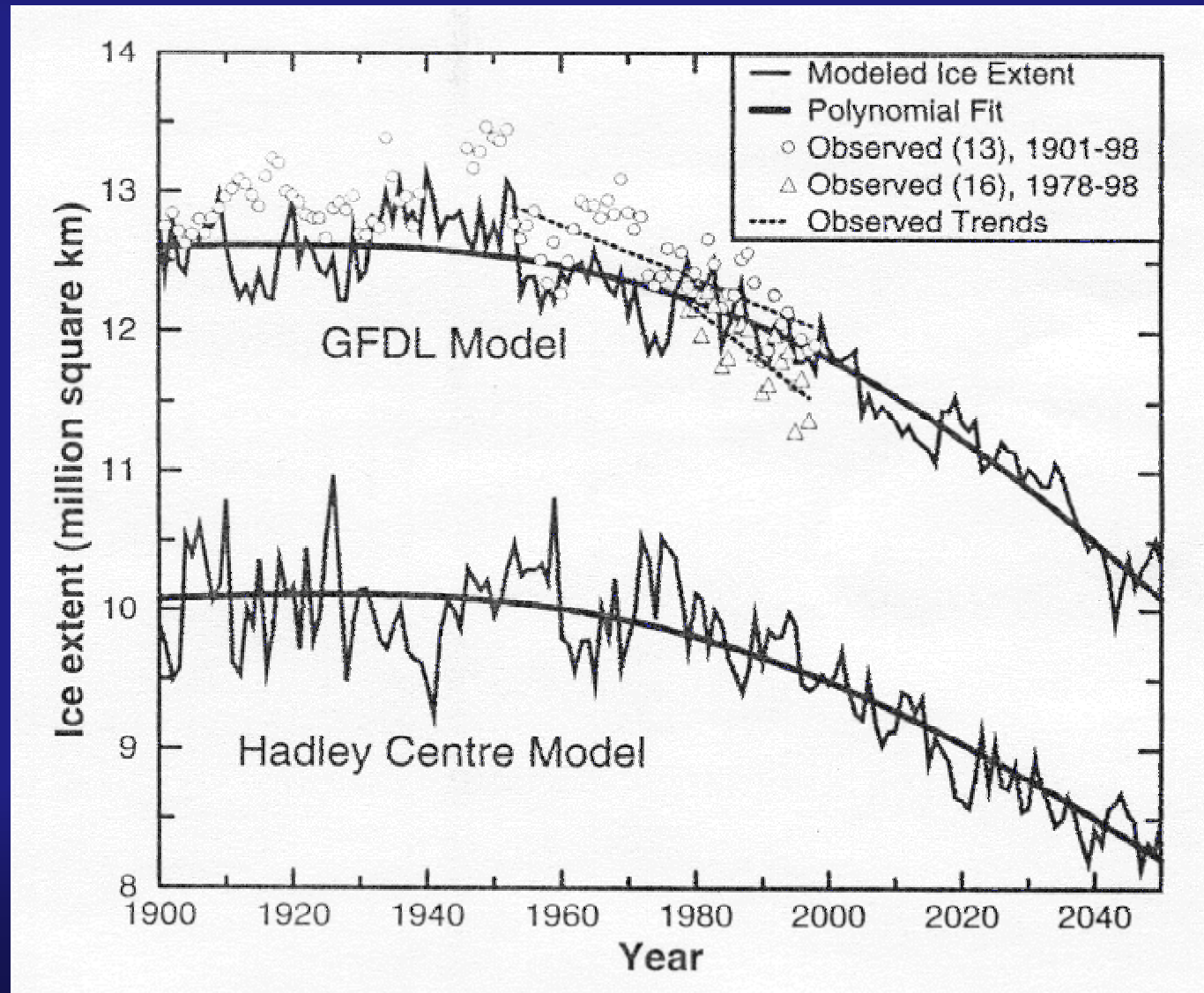


1.5 m - Impact

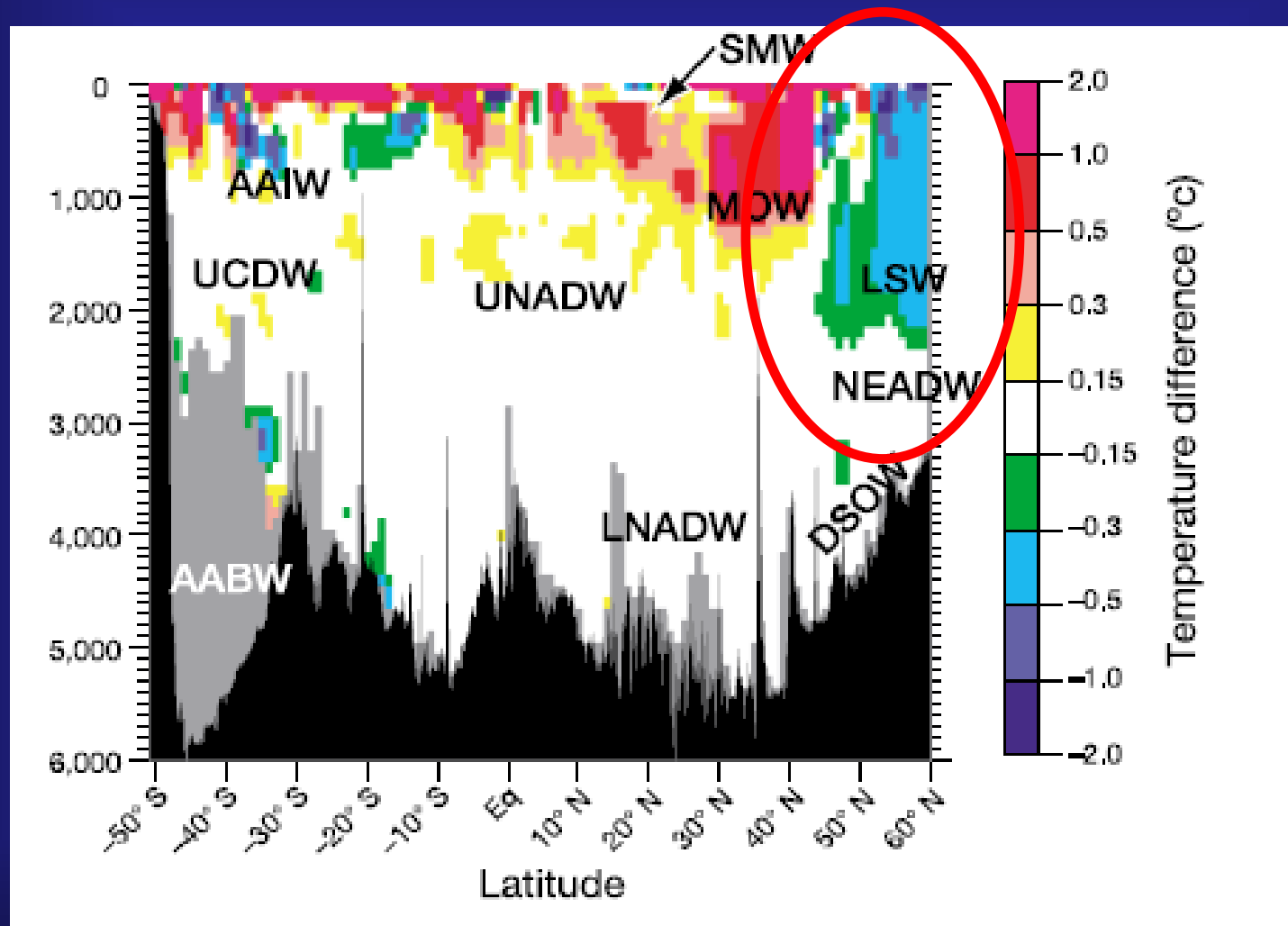
Total population affected: 17 Million (15%)

Total land area affected: 22,000 km² (16%)

La extensión de hielo se reduce. ¿Qué predicen los modelos?



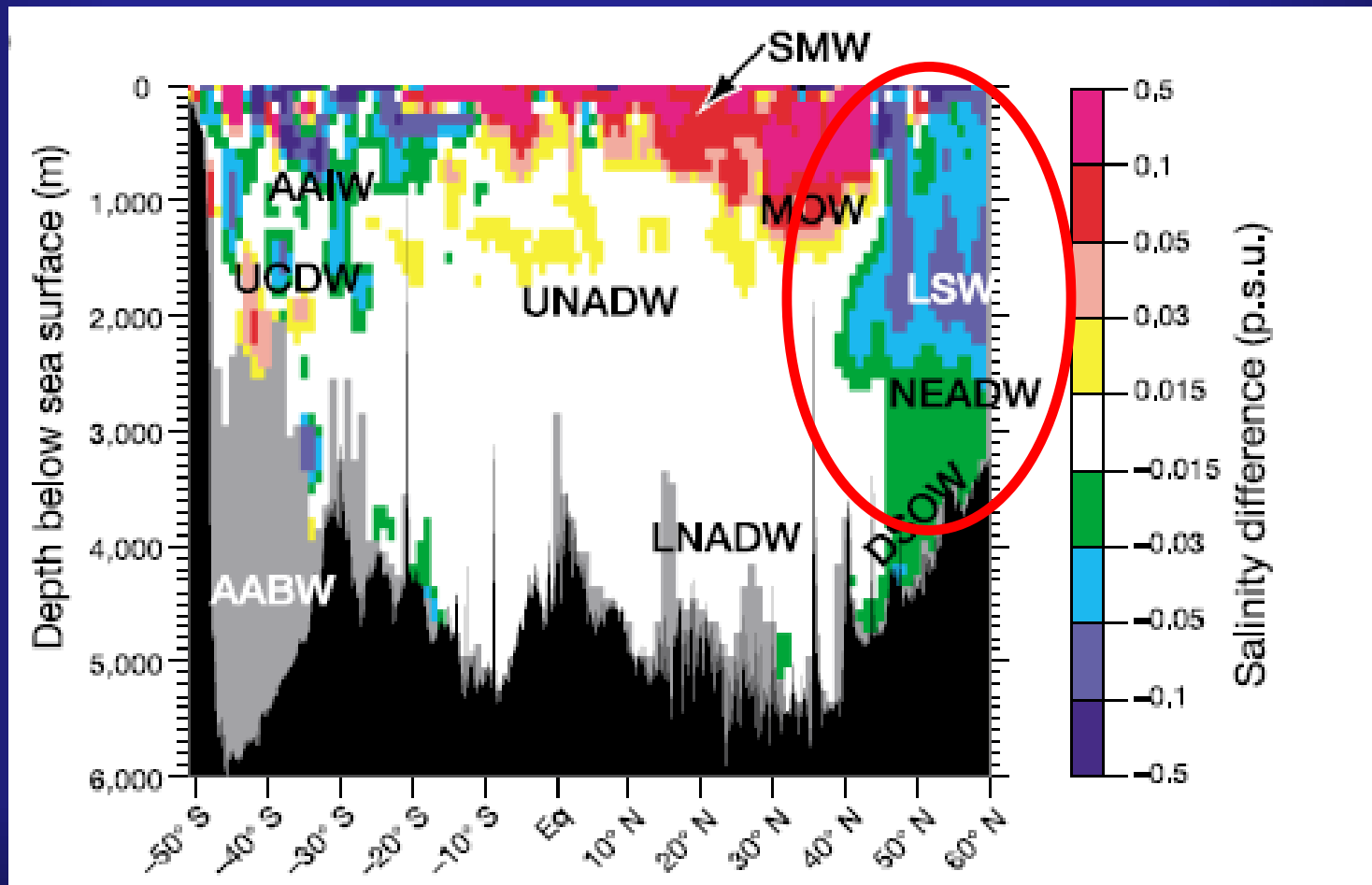
El Atlántico Norte se enfría (comparación 1985-1999 menos 1955-1969)



(Curry et al. 2003)

Curry et al (2003)

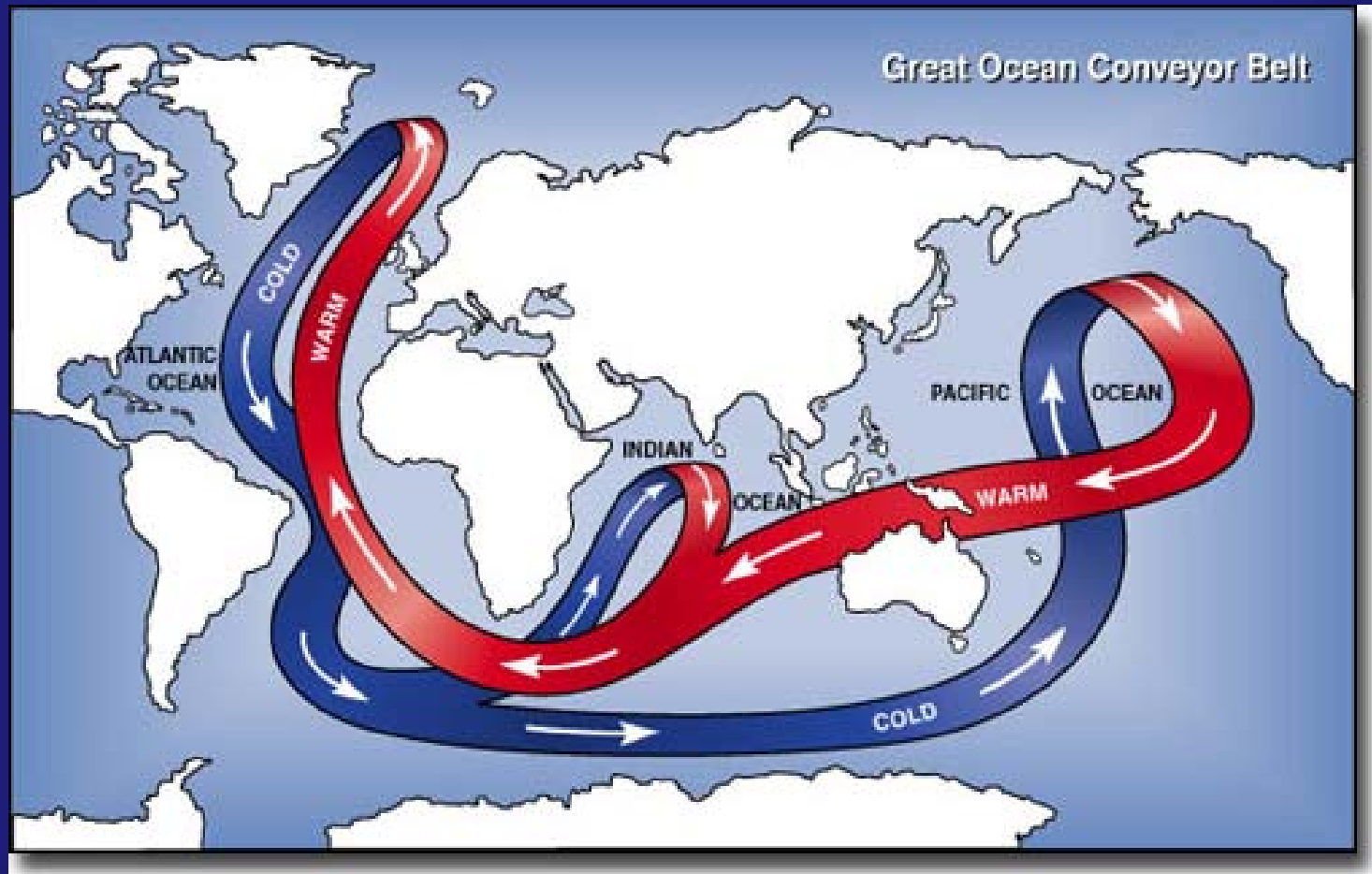
... y se hace menos salino
(comparación 1985-1999 menos 1955-1969)



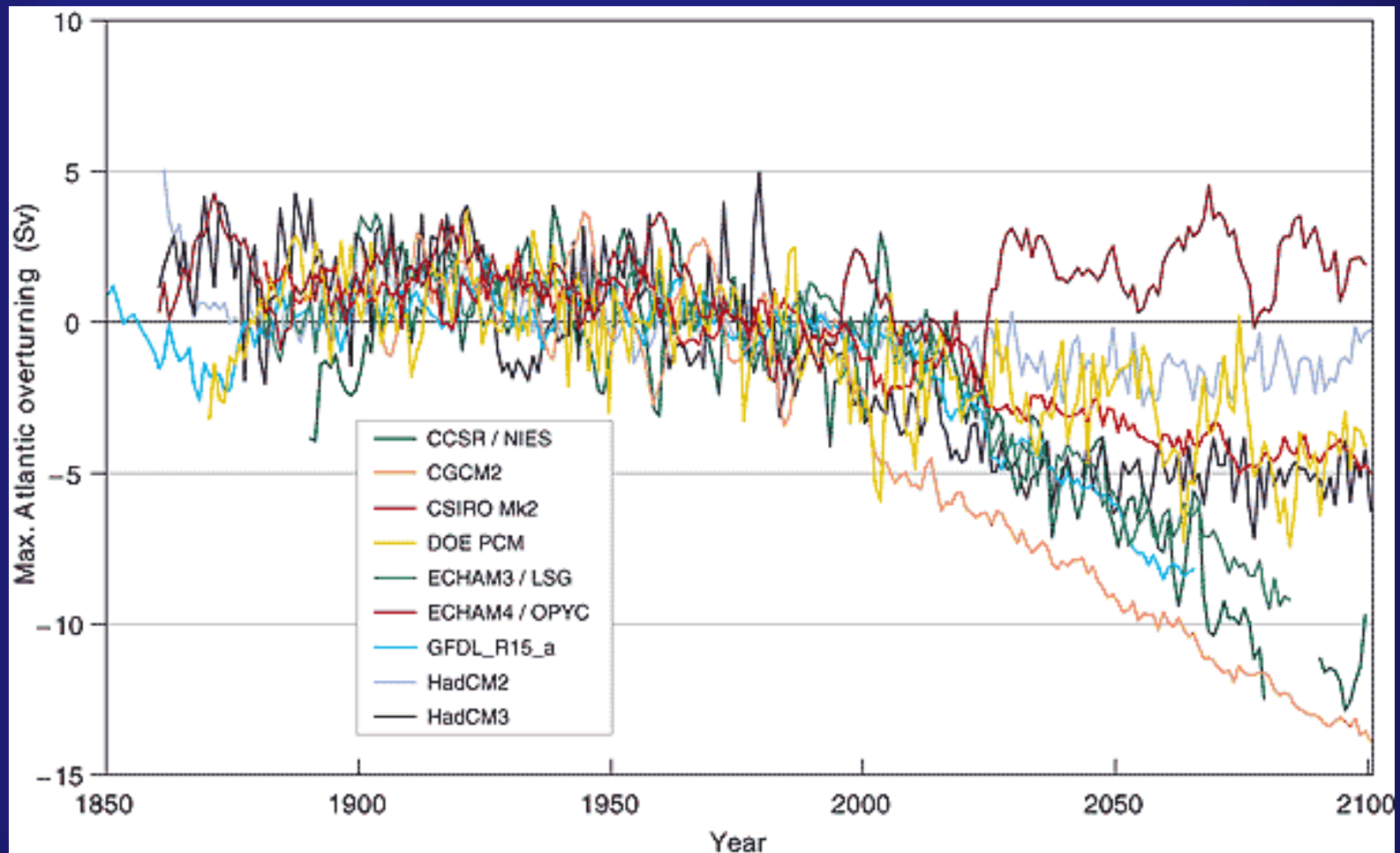
(Curry et al. 2003)

Curry et al (2003)

El “conveyor belt”: la circulación termohalina



La circulación termohalina se ralentizará



... pero esto ya ocurrió en escalas de décadas hace unos 12700 años

... debido a causas diferentes a las presentes



Conclusiones IPCC enero 2001

Discontinuidades de gran escala: hielo, nivel del mar, circulación termohalina

- La extensión de hielo del hemisferio N decrecerá
- La cubierta de hielo antártico ganará masa debido al incremento de precipitación, mientras que el casquete de Groenlandia perderá masa
- El nivel del mar se espera que aumente entre 0.09 y 0.88 m entre 1990 y 2100
- La circulación termohalina se ralentizará conduciendo a una reducción del transporte de calor hacia latitudes altas del hemisferio N. Esto no contrarrestará el efecto del calentamiento que sería detectable en Europa debido a las emisiones de GEI

Conclusiones IPCC enero 2001:

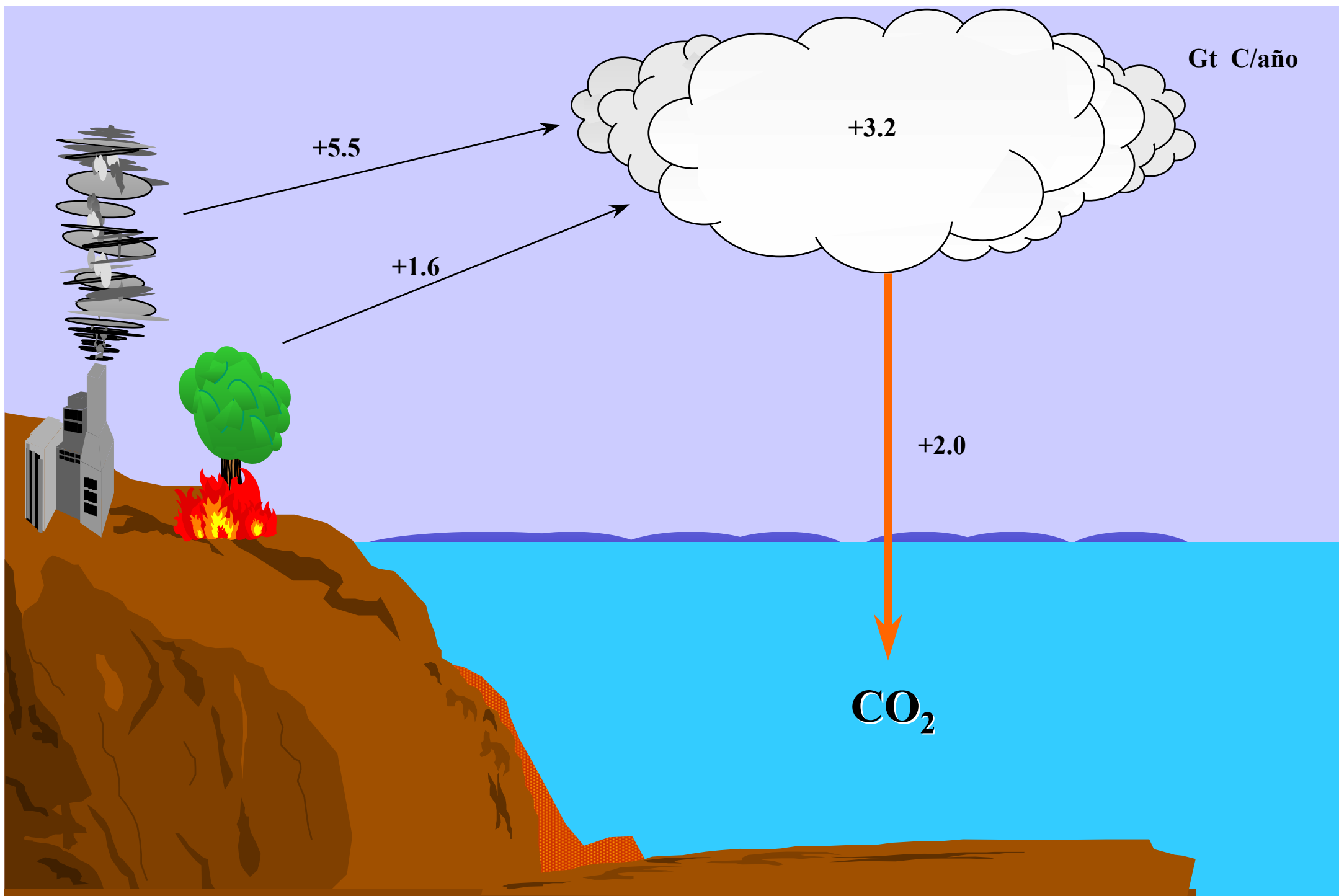
El cambio climático antropogénico persistirá durante siglos

- Tras la estabilización de GEI la temperatura global superficial aumentará a una tasa de décimas de grado por siglo
- El calentamiento y el incremento del nivel del mar debido a expansión térmica continuará durante cientos de años tras la estabilización de las concentraciones de GEI incluso a los niveles actuales
- Los casquetes polares continuarán reaccionando ante el calentamiento global incluso miles de años después de que el clima se haya estabilizado

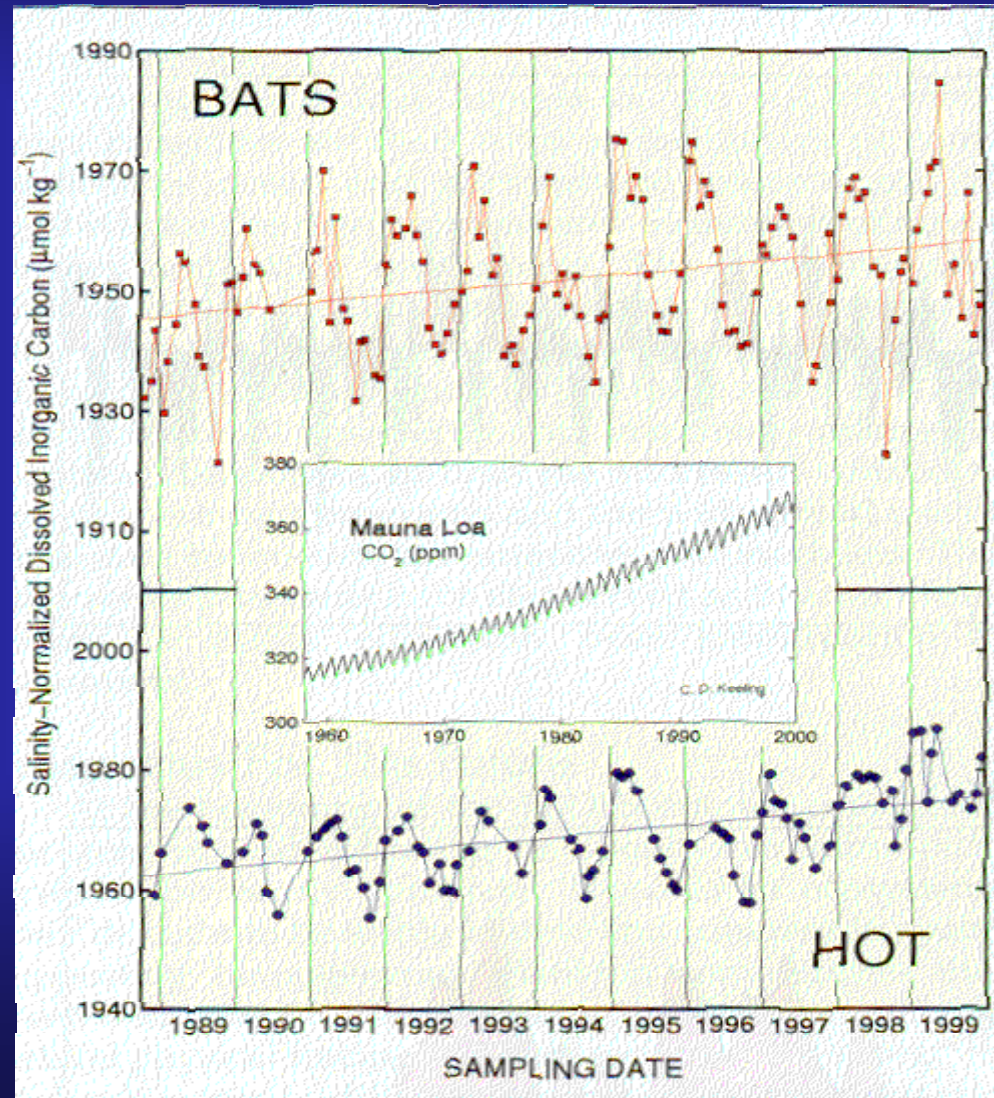
CO₂ antropogénico

ESQUEMA DE LA EXPOSICIÓN

- ΔCO_2 y calentamiento global
- Calentamiento del océano
- Aumento del nivel del mar
- **CO_2 antropogénico**
- Cambios en los patrones de fertilización
- Cambios en las comunidades marinas



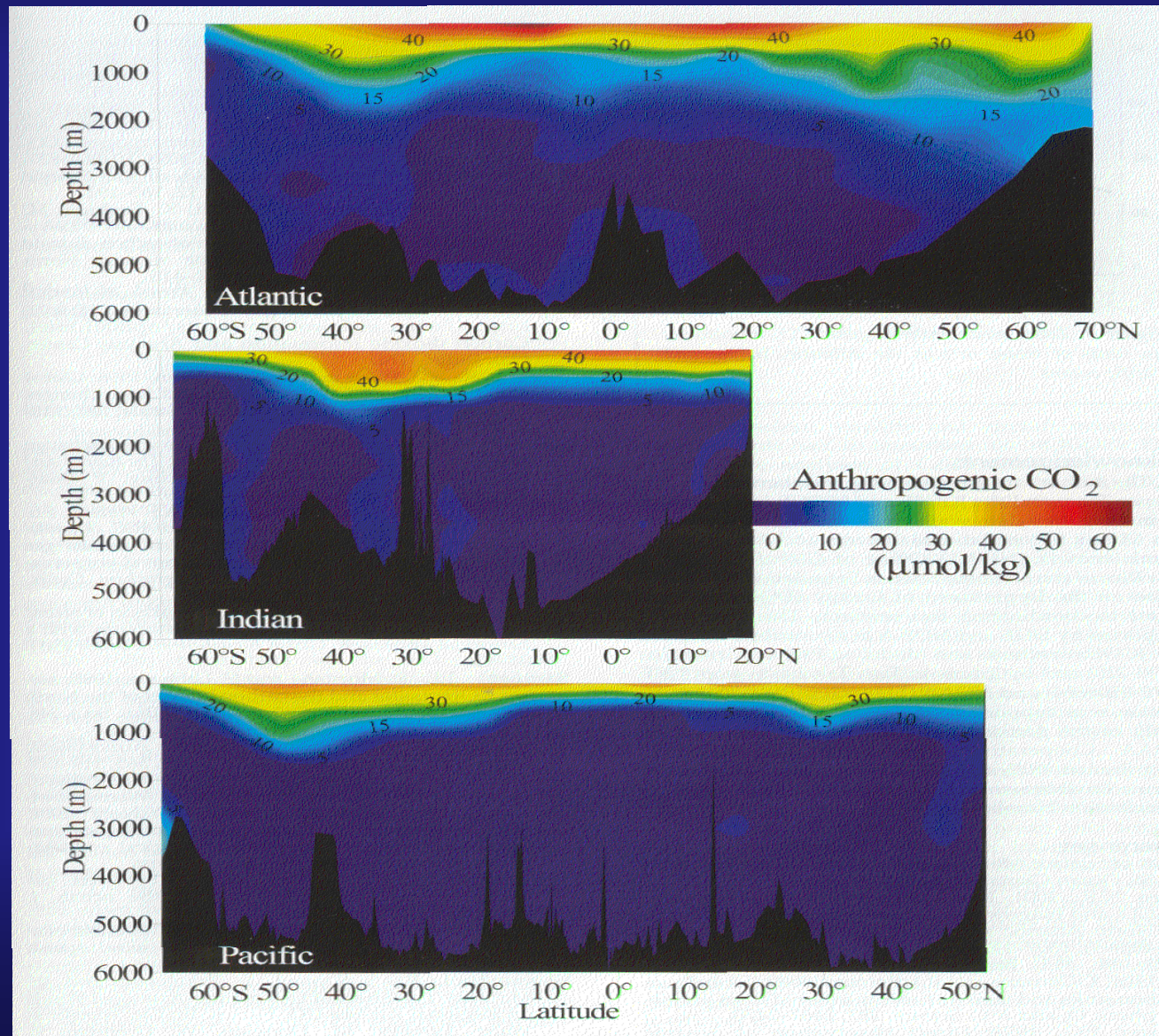
El océano se enriquece en CO₂



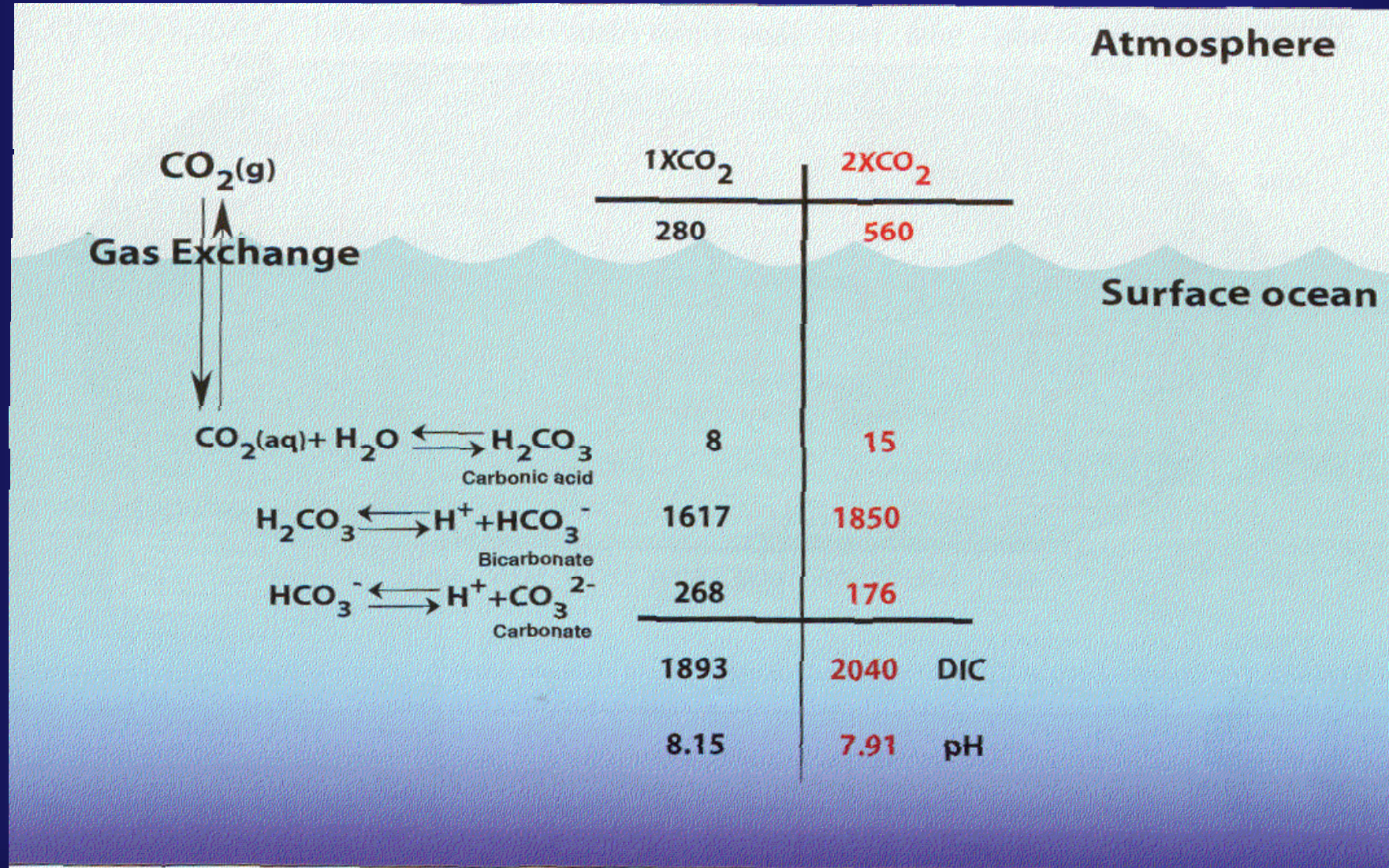
+ 1.23 μmol kg⁻¹ año⁻¹

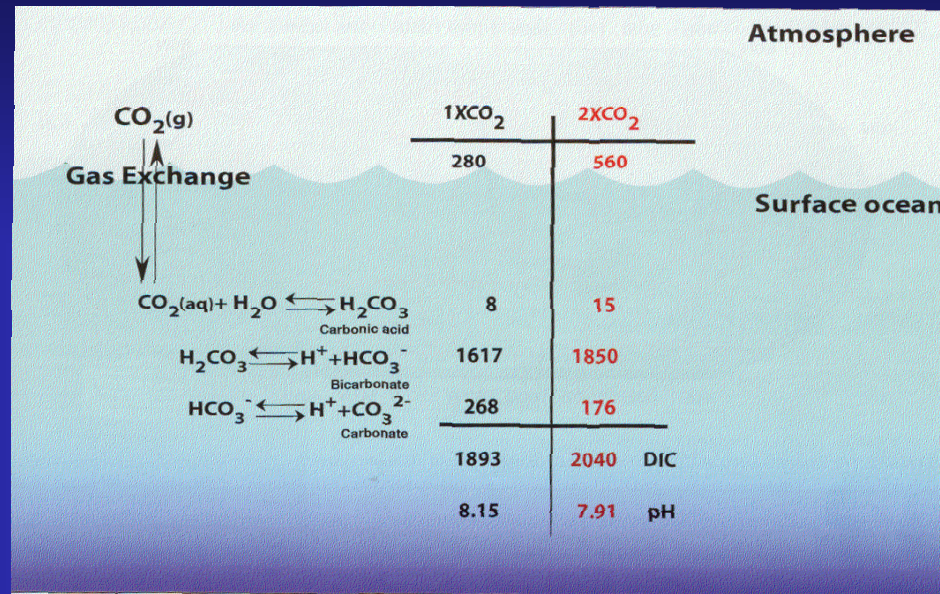
+ 1.18 μmol kg⁻¹ año⁻¹

El océano se enriquece en CO₂

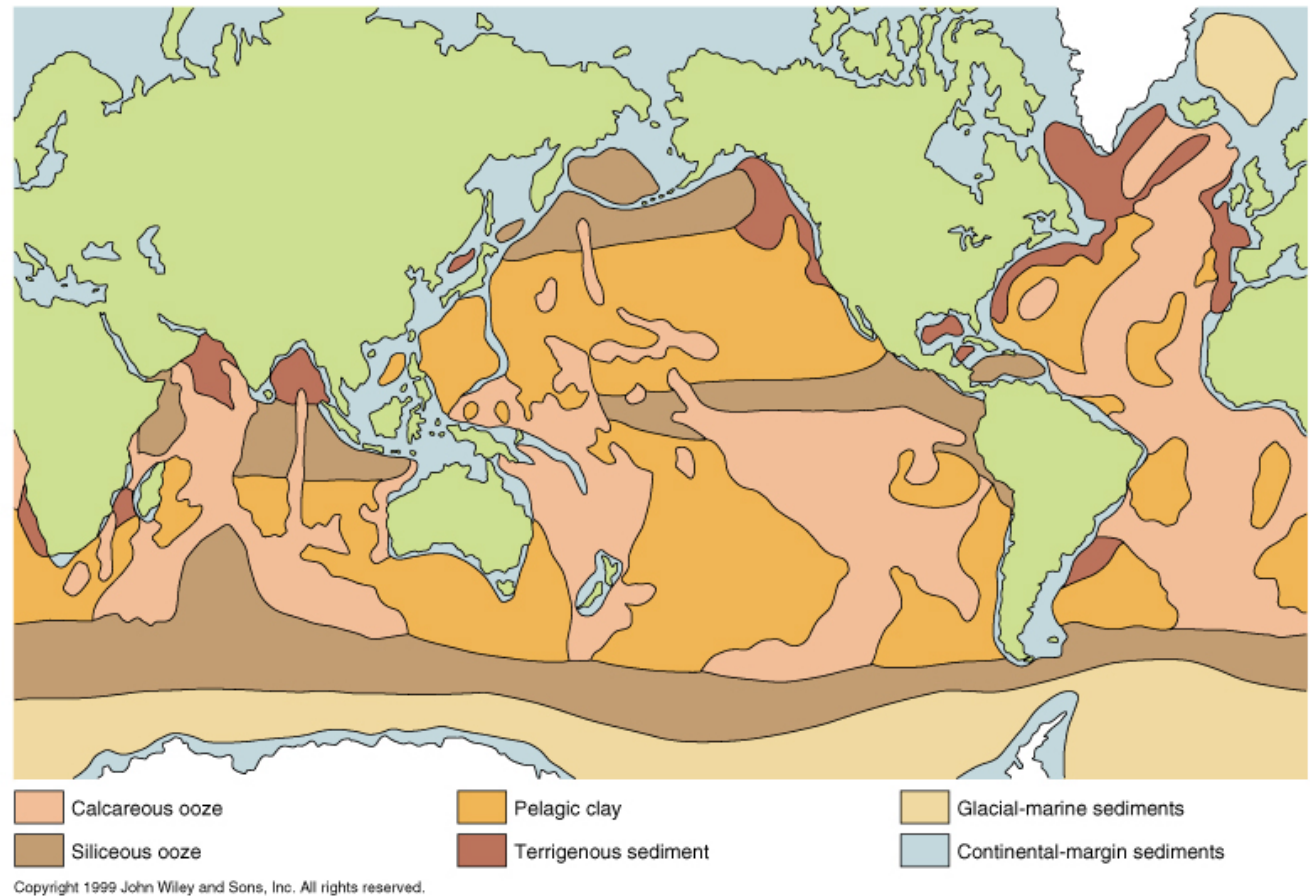


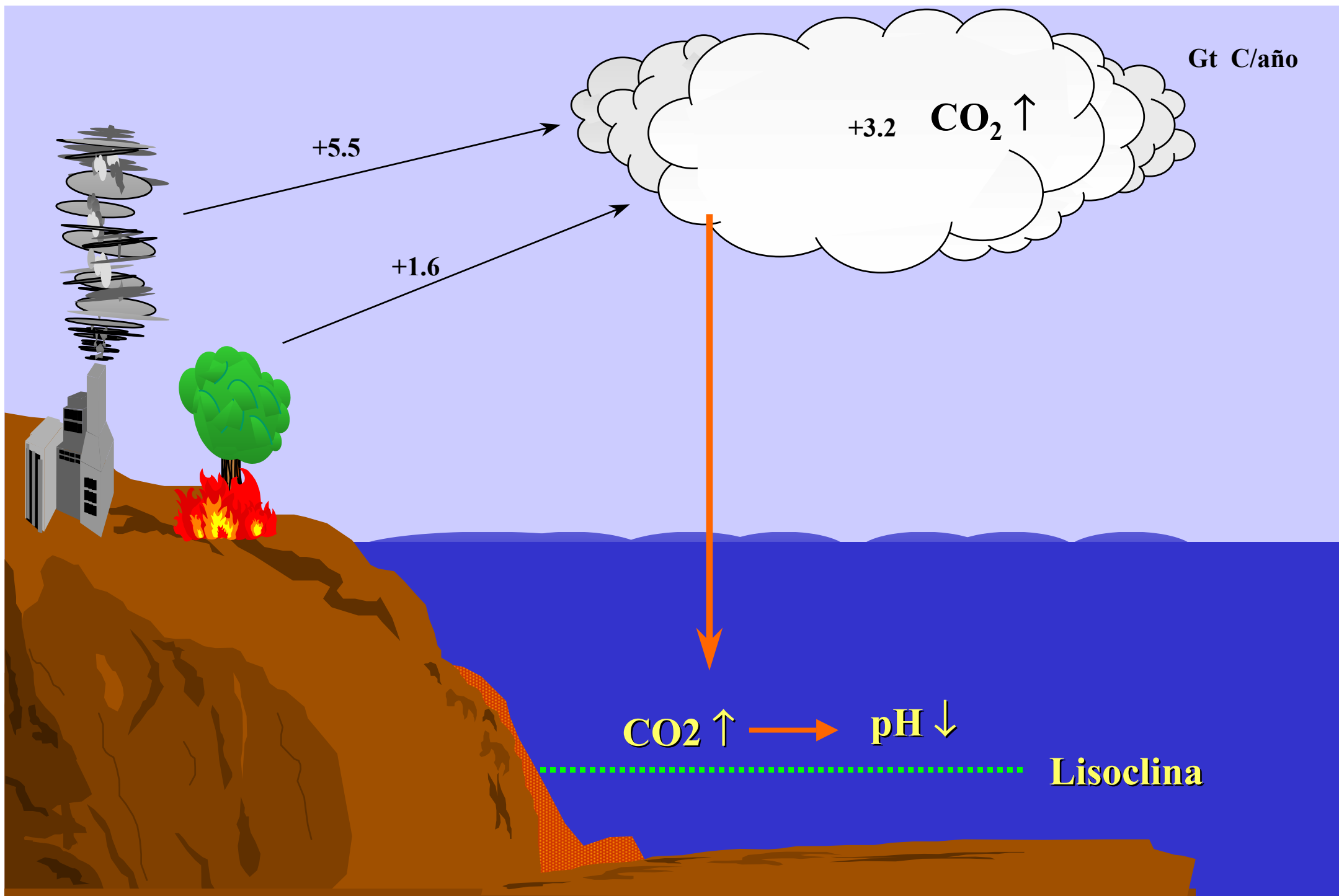
El océano se enriquece en CO₂ alterando la composición química del agua de mar

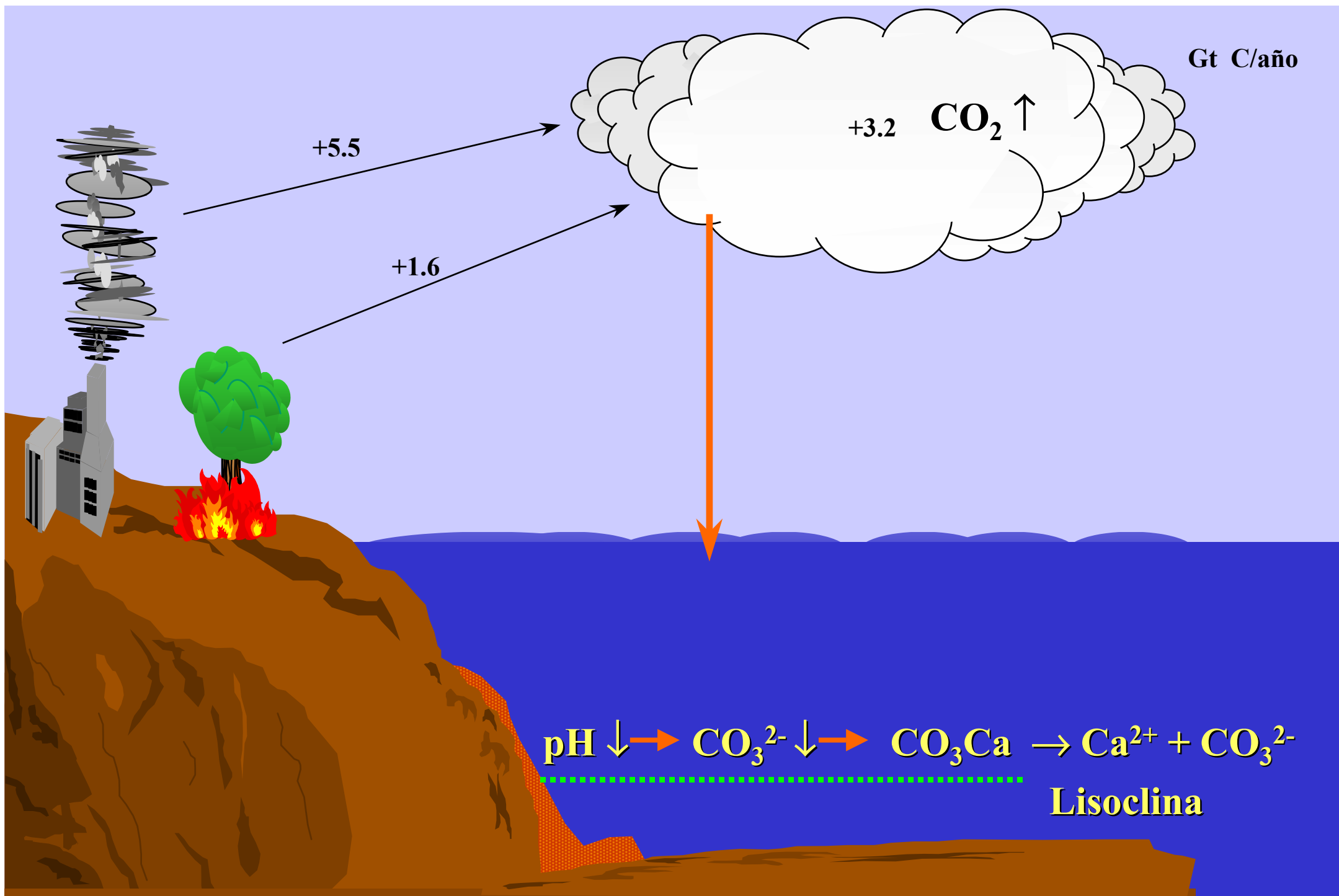


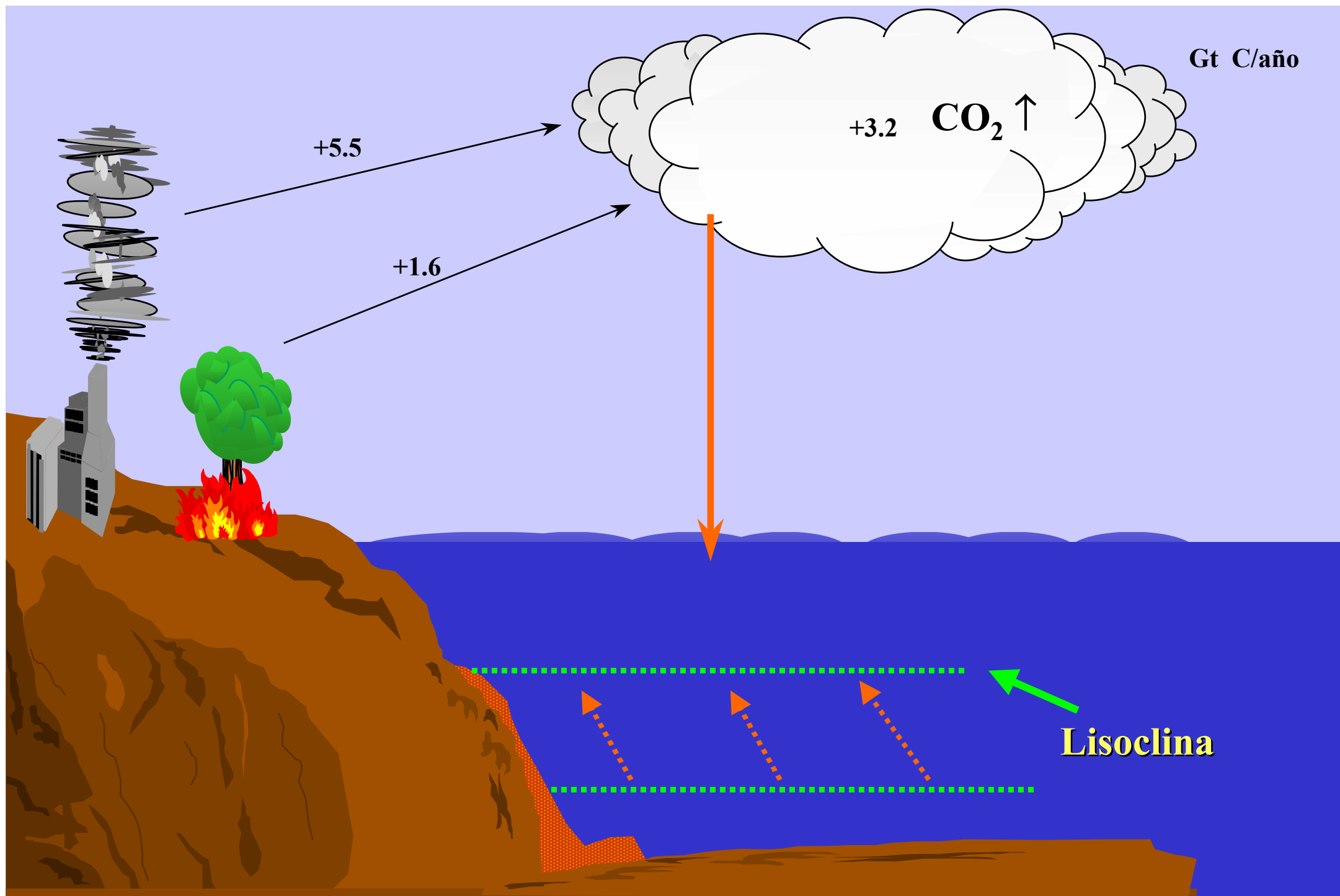


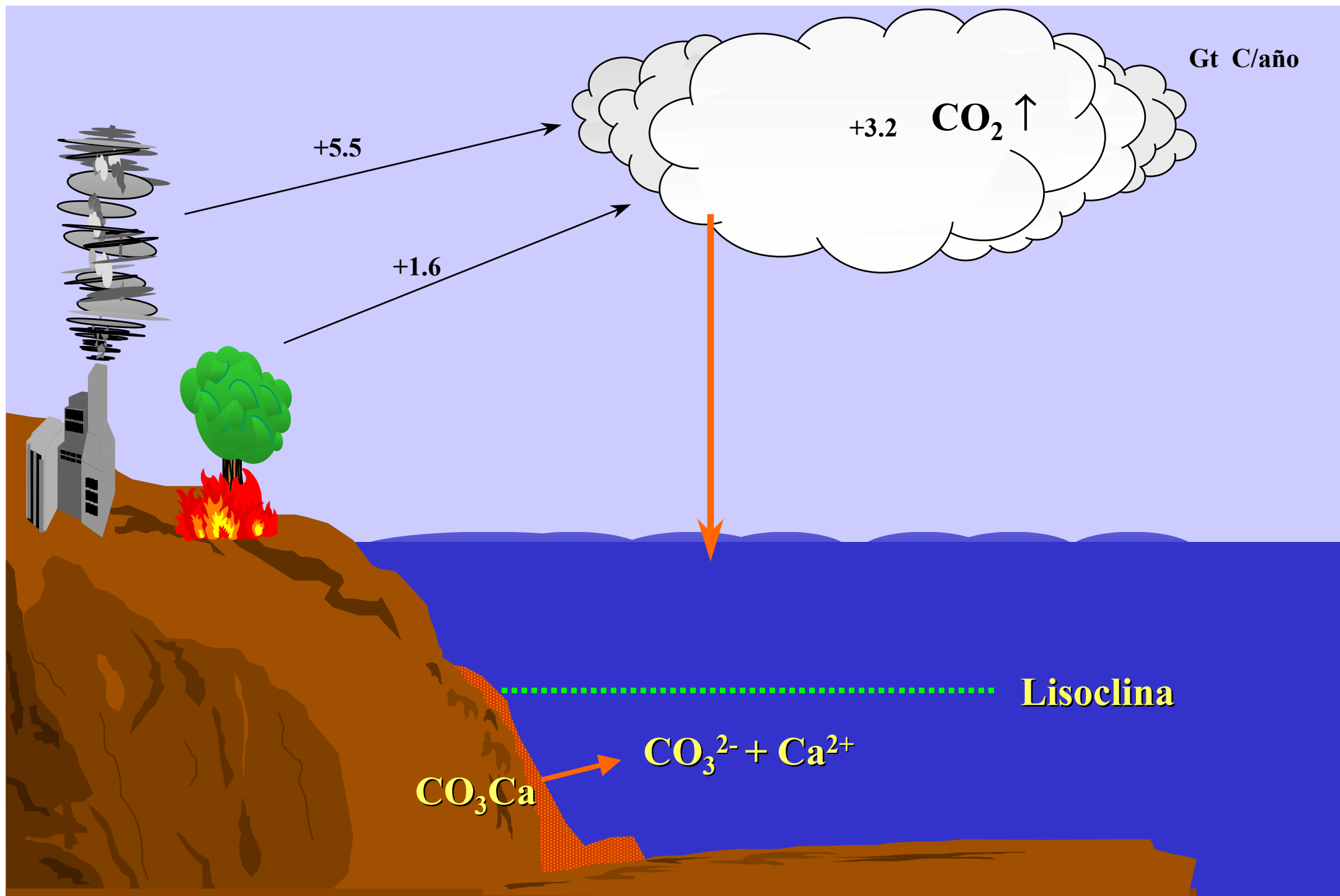
Aproximadamente la
mitad de los sedimentos
marinos son
carbonatados

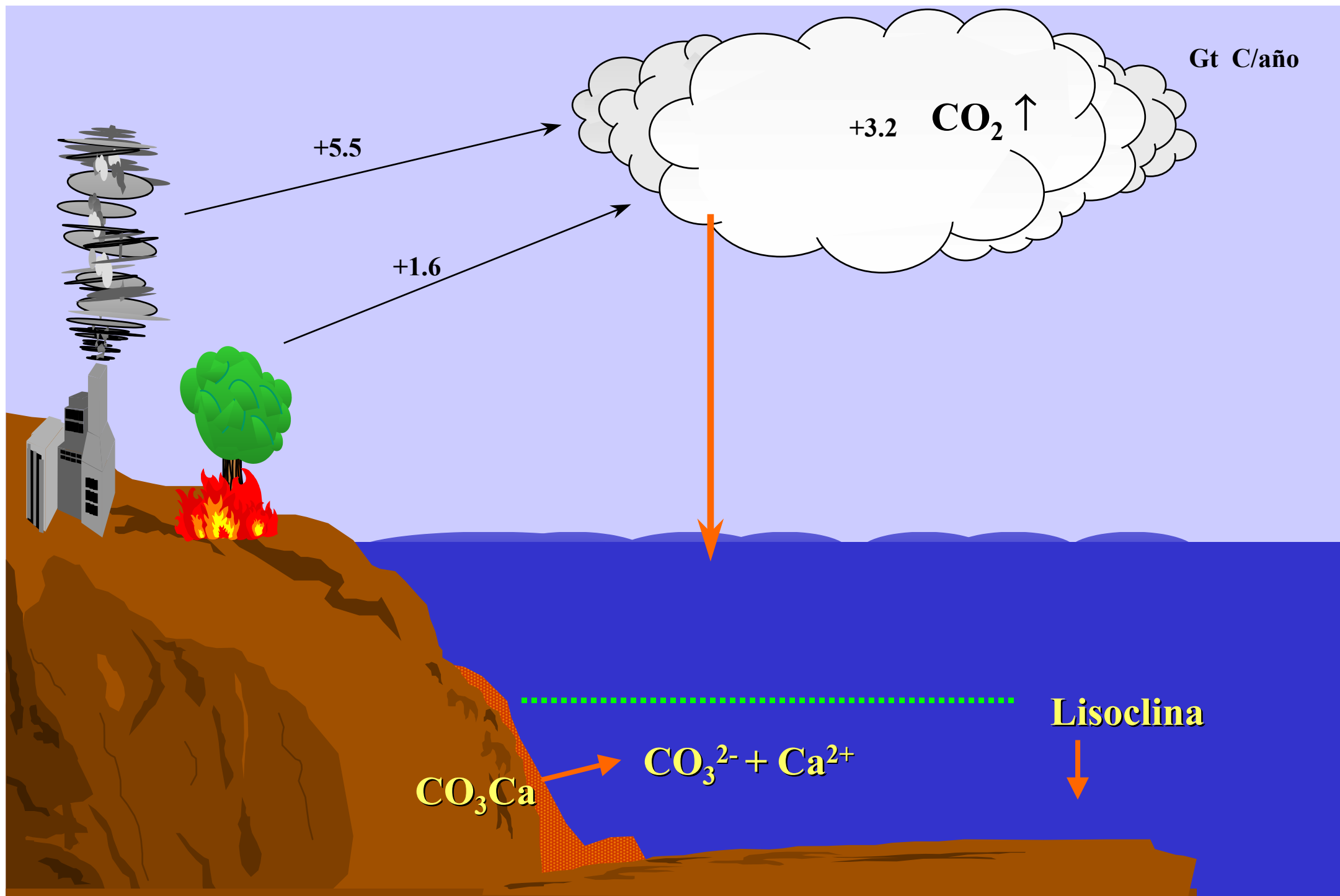


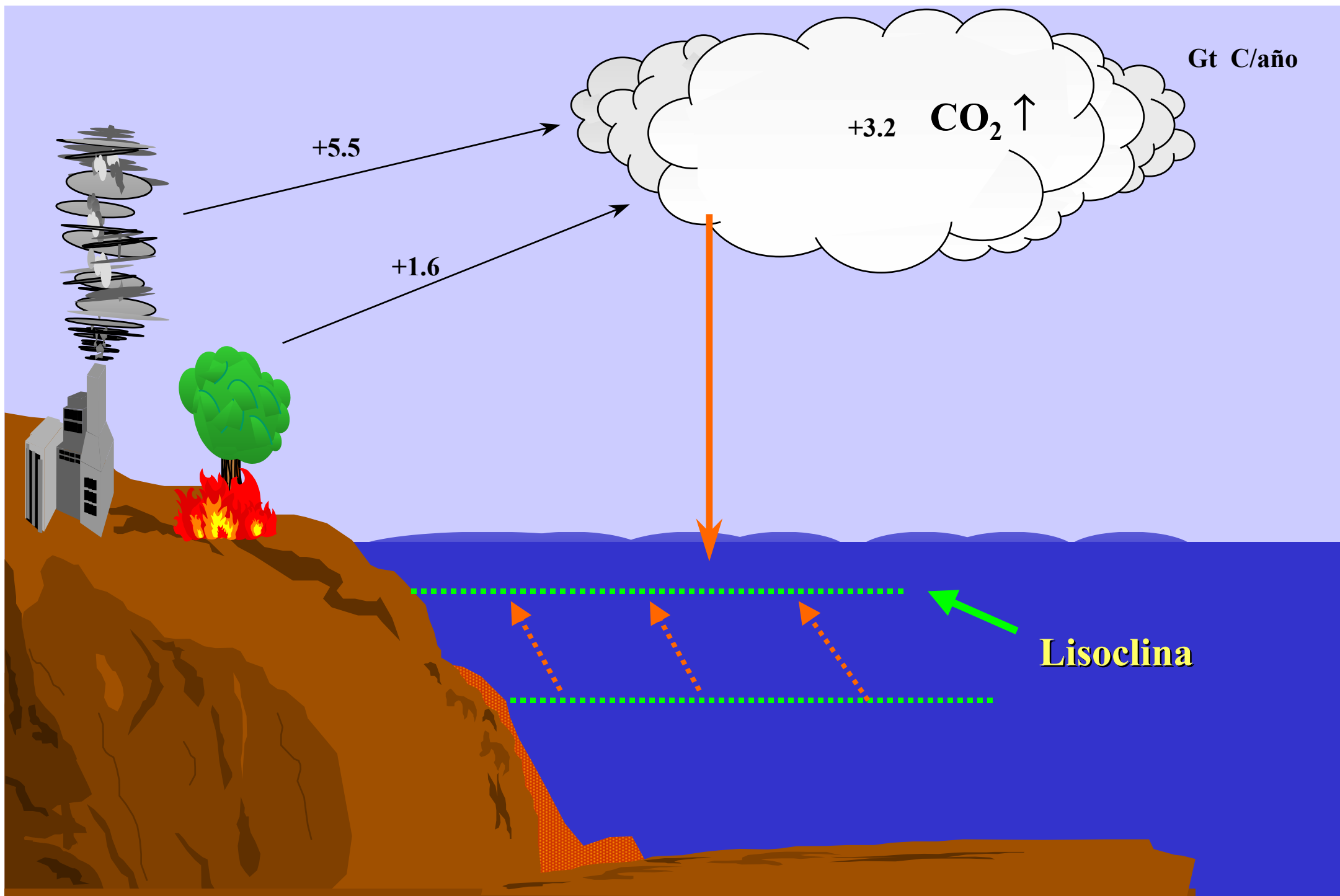


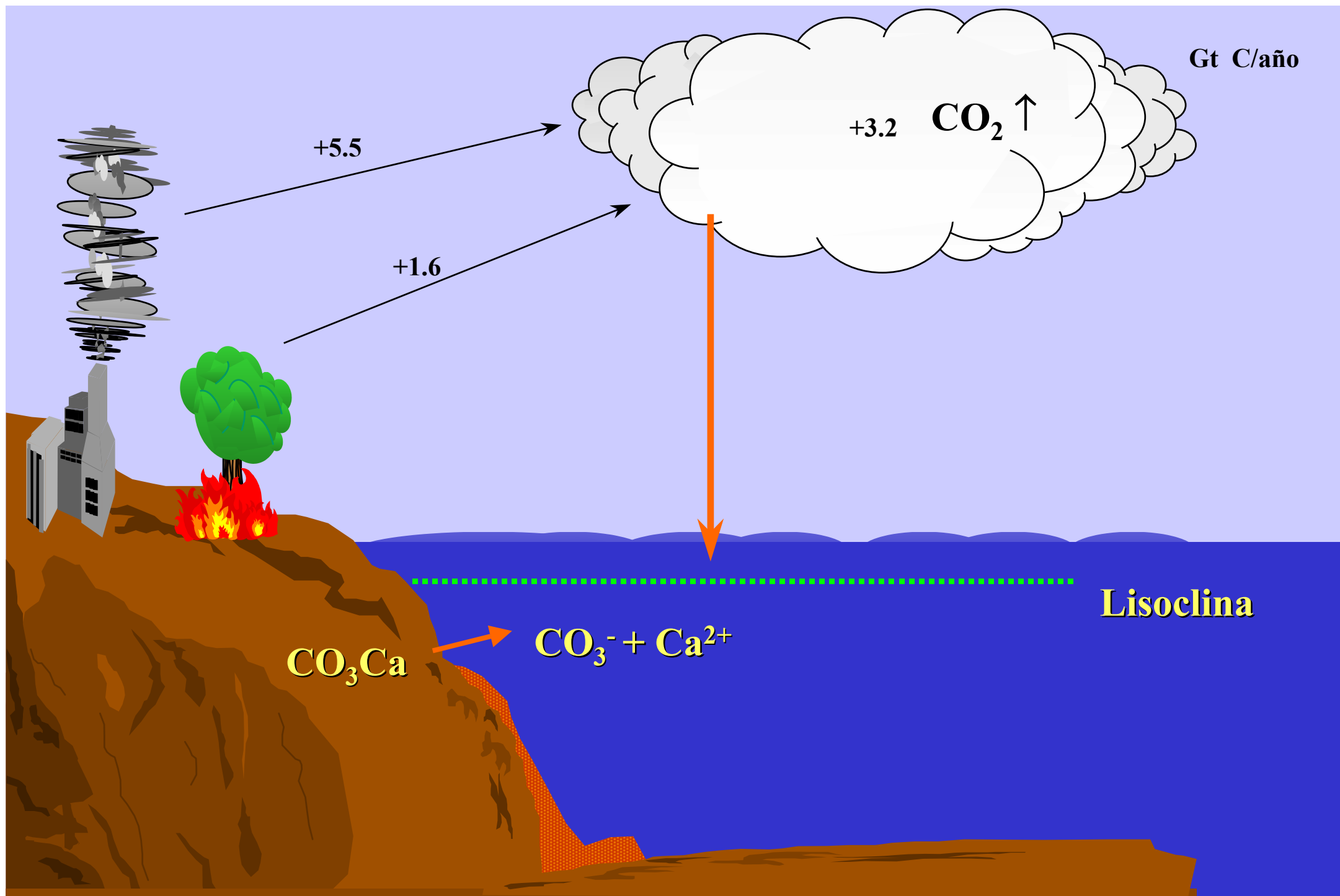












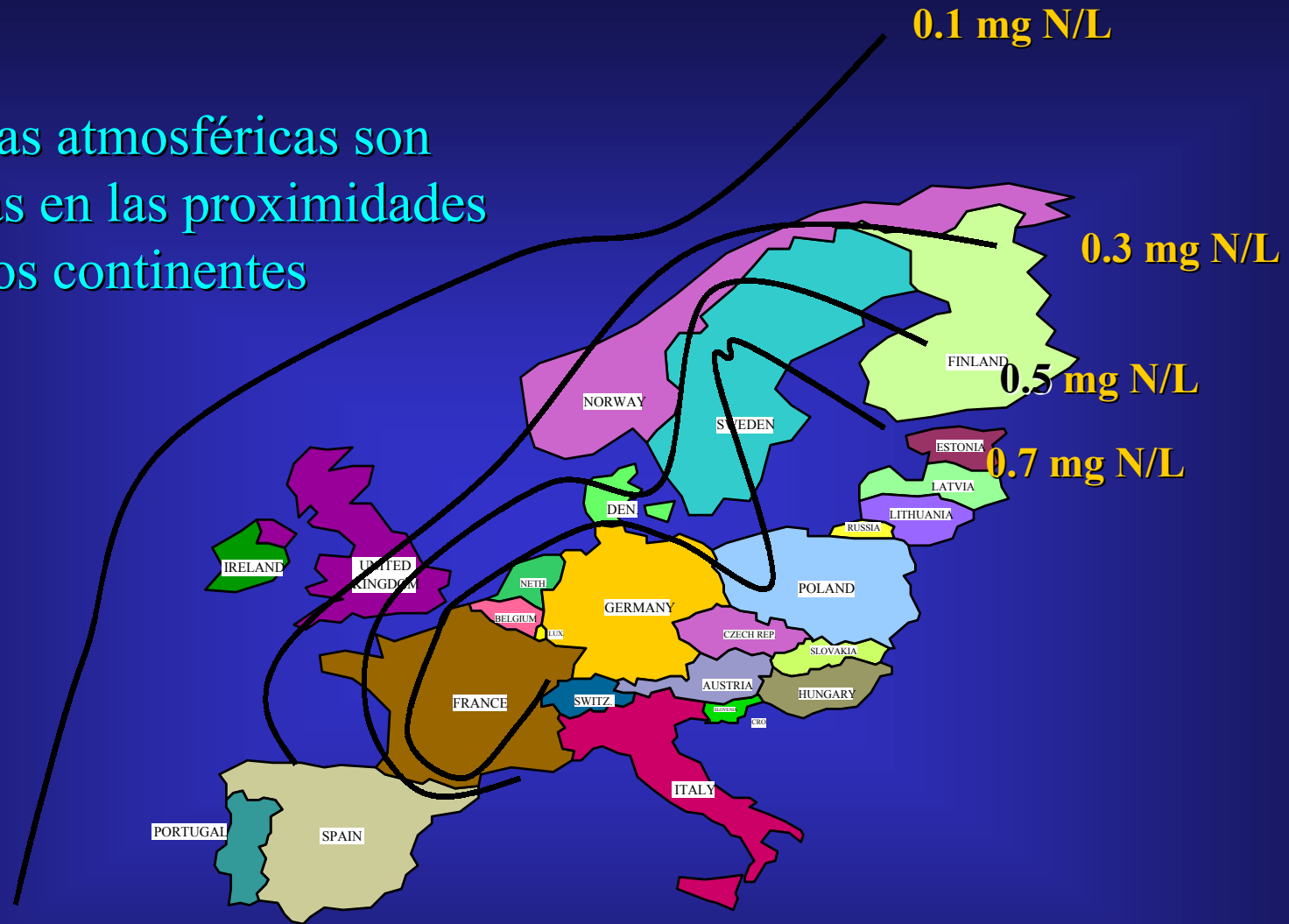
Fertilización atmósfera

ESQUEMA DE LA EXPOSICIÓN

- ΔCO_2 y calentamiento global
- Calentamiento del océano
- Aumento del nivel del mar
- CO_2 antropogénico
- **Cambios en los patrones de fertilización**
- Cambios en las comunidades marinas

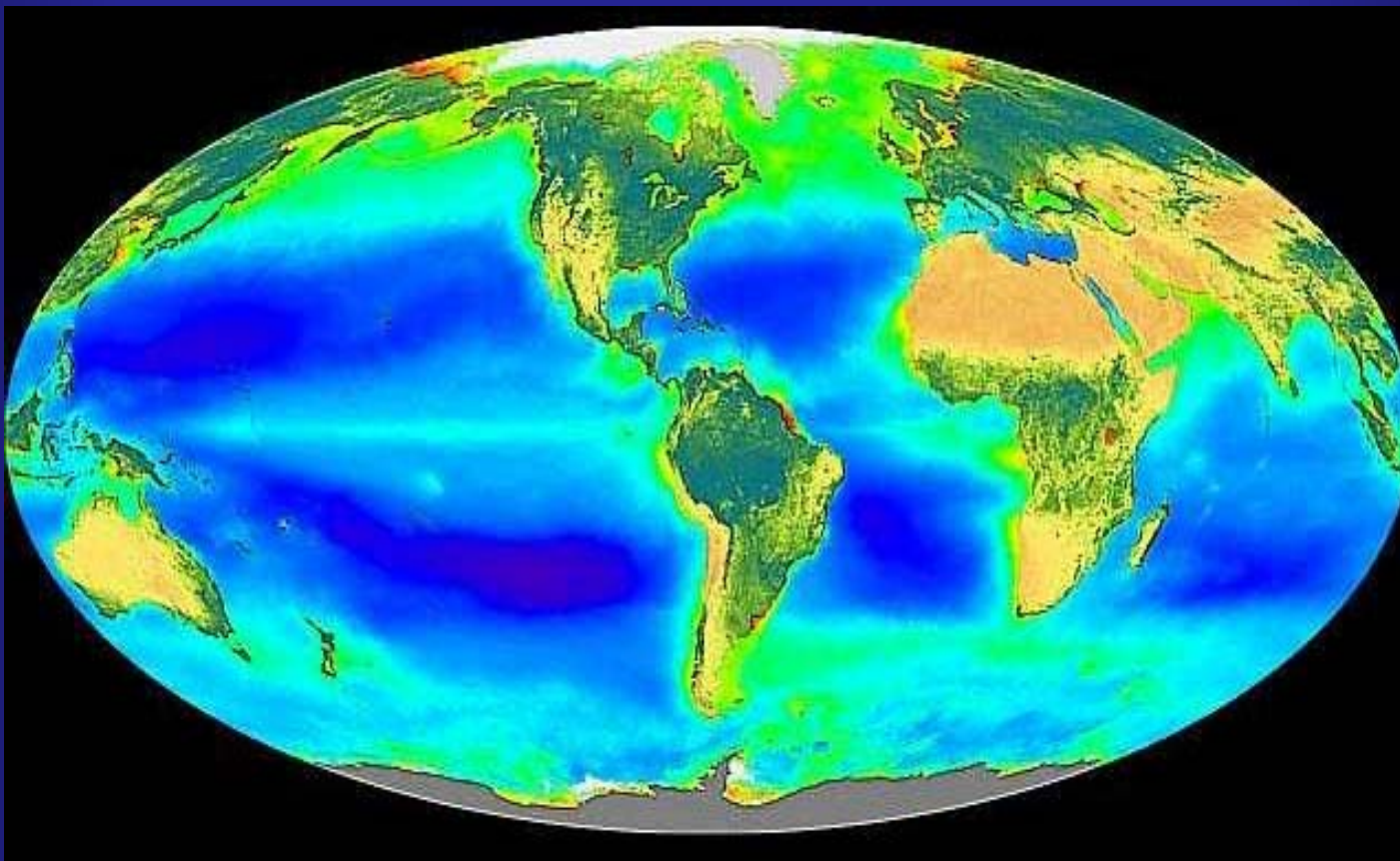
- Fertilización por la atmósfera
- Fertilización desde el océano subsuperficial

La entradas atmosféricas son
significativas en las proximidades
de los continentes

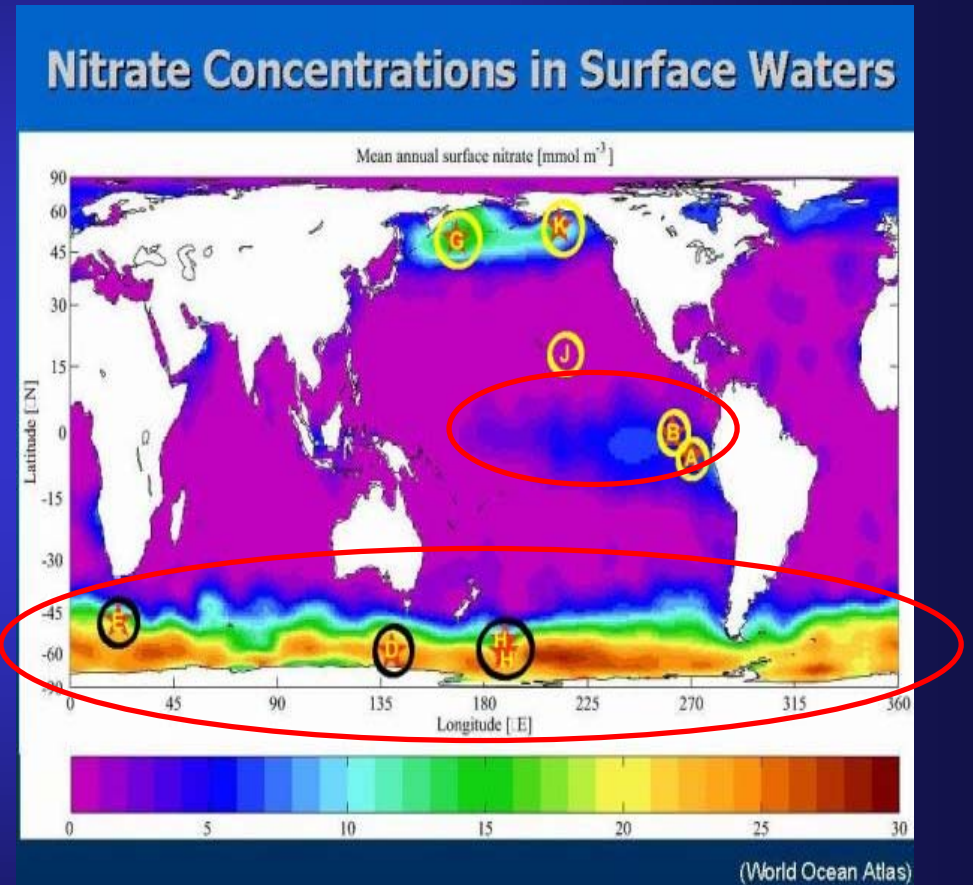
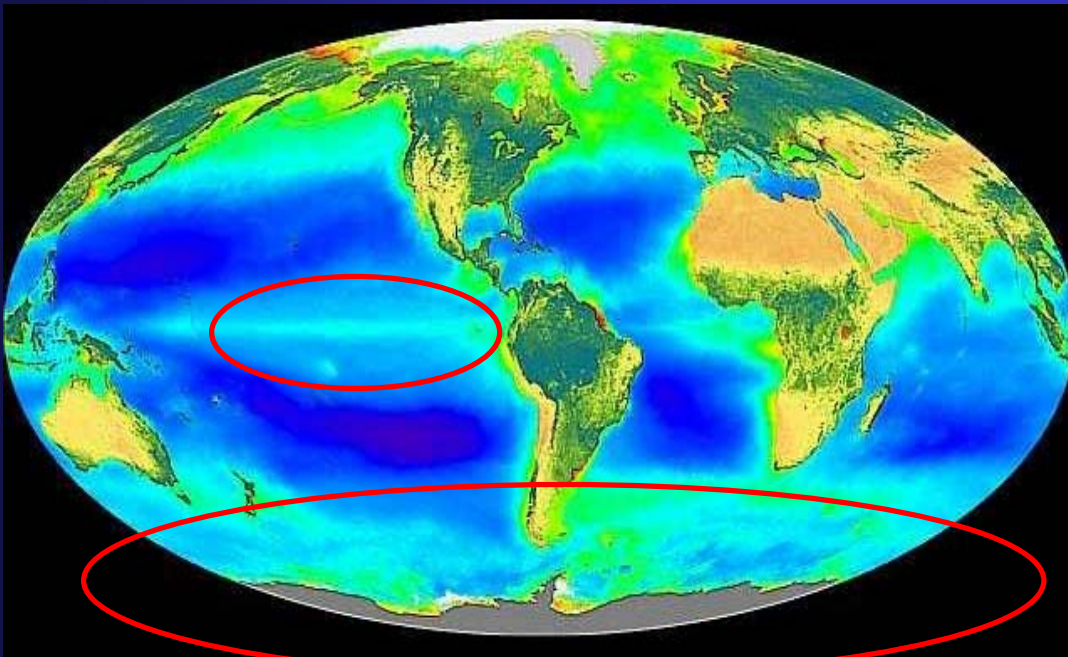


Derwent & Nodop (1986)

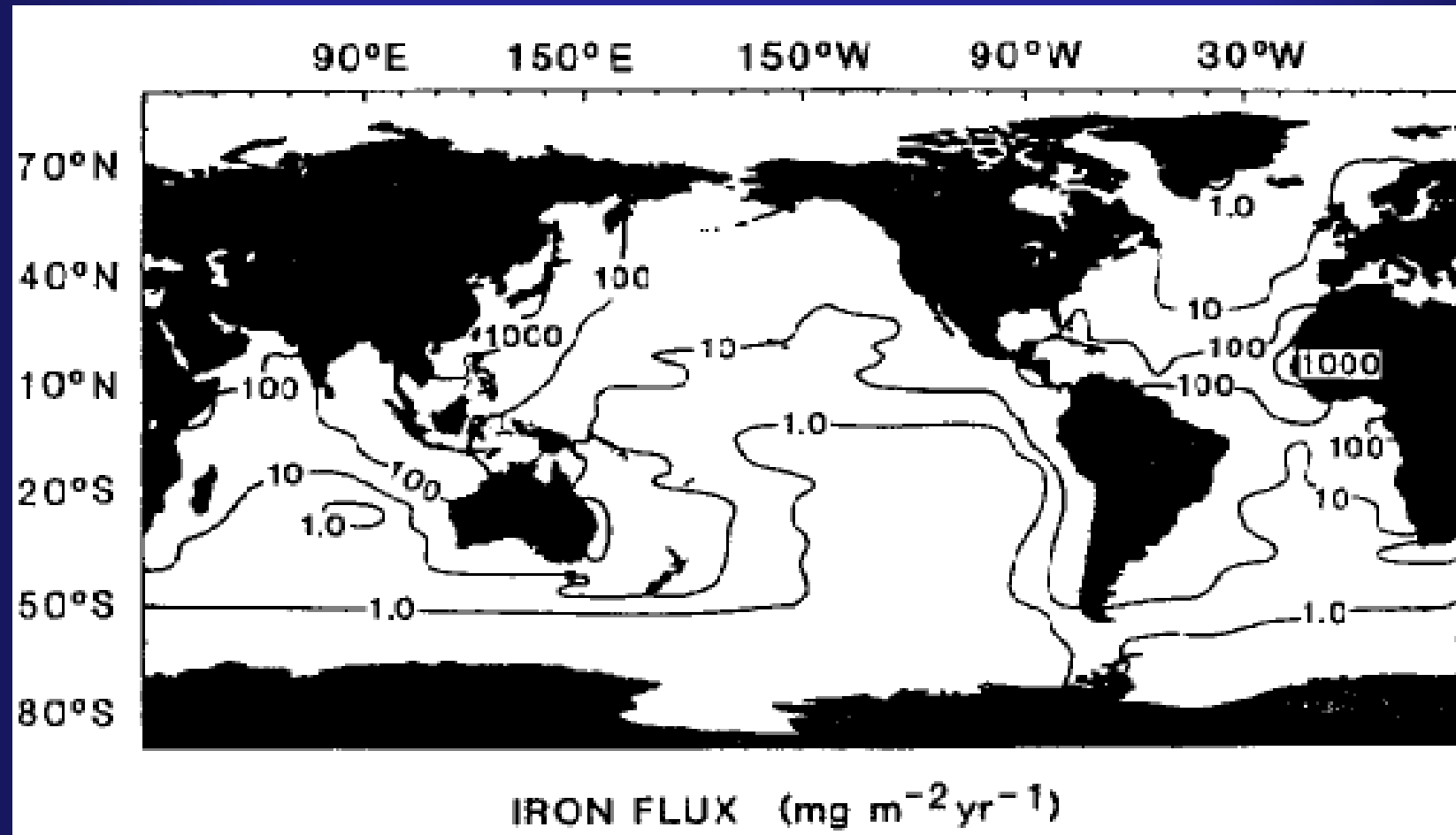
El océano es, en general, un desierto ...



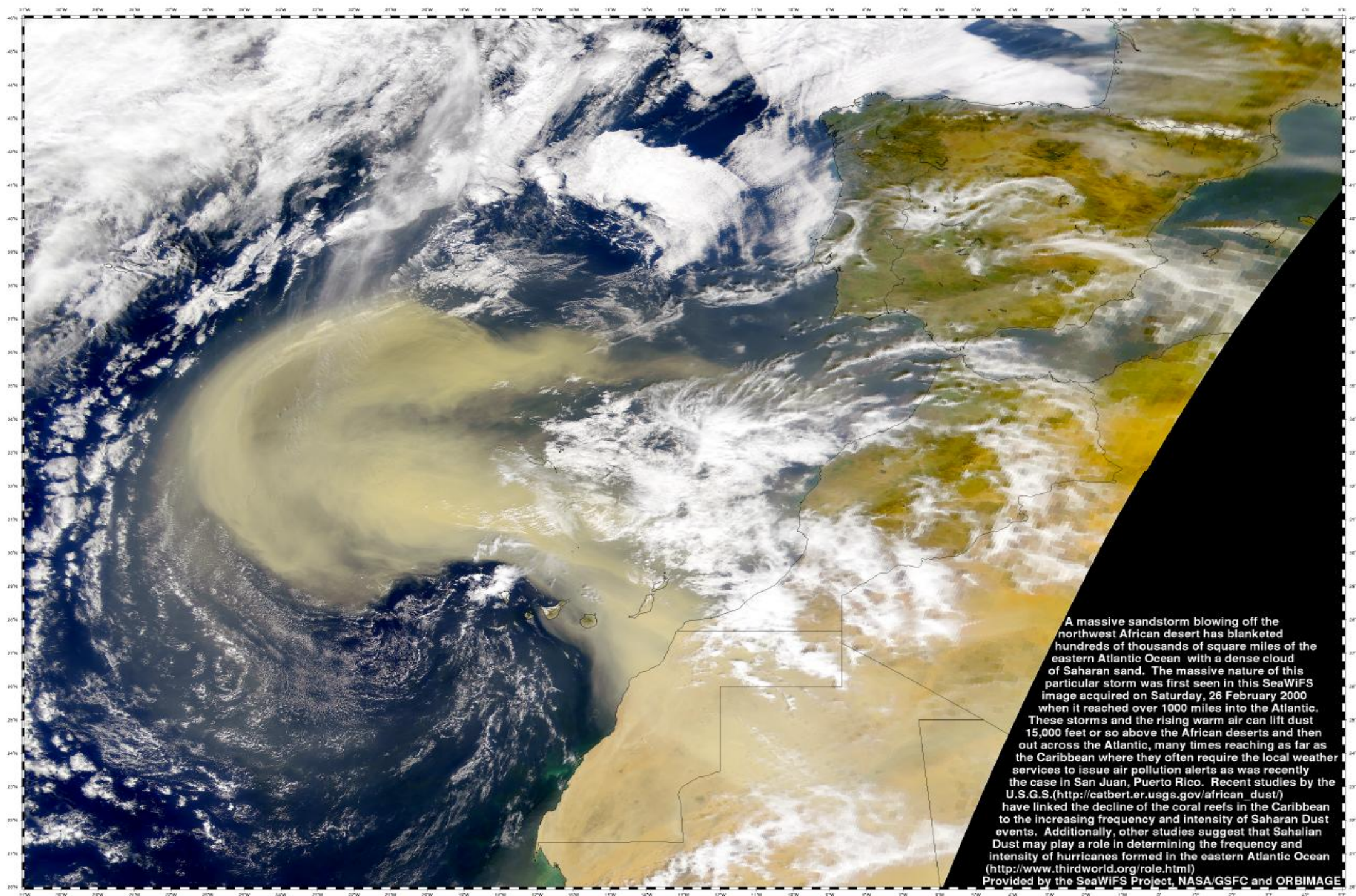
... incluso en zonas ricas en nutrientes



La entrada de algunos nutrientes por la atmósfera es muy significativa

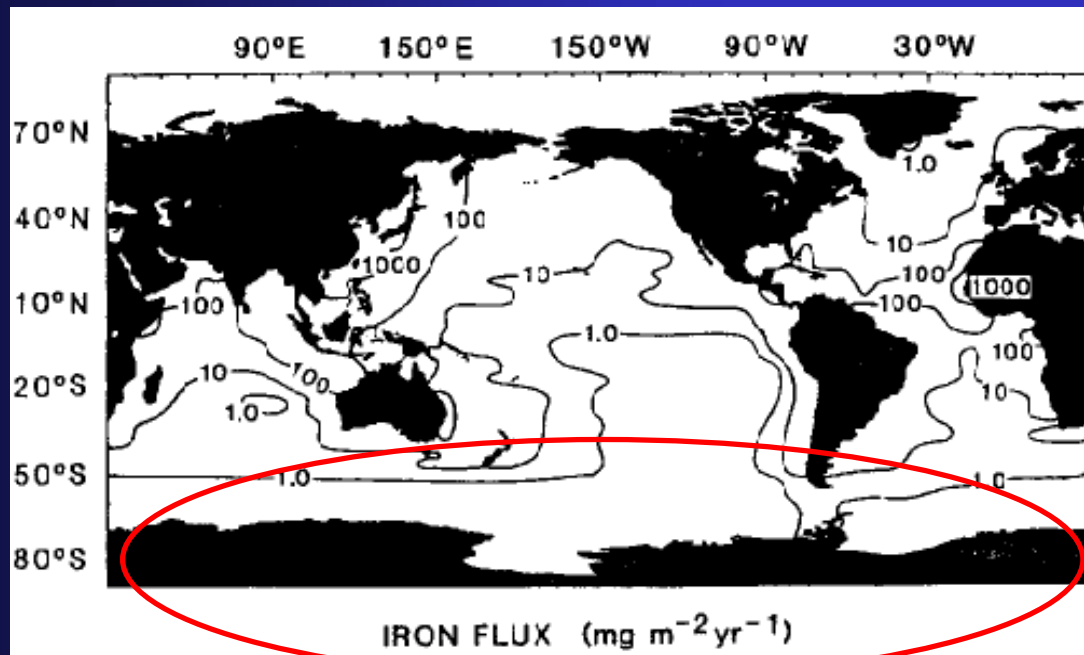


Donaghay et al (1991)

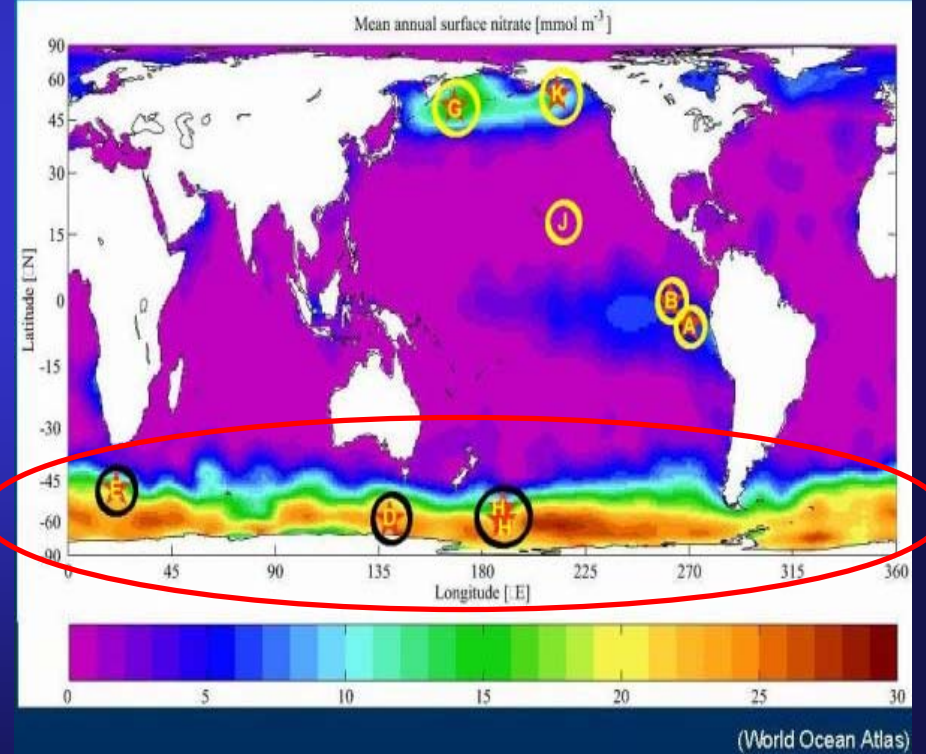


A massive sandstorm blowing off the northwest African desert has blanketed hundreds of thousands of square miles of the eastern Atlantic Ocean with a dense cloud of Saharan sand. The massive nature of this particular storm was first seen in this SeaWiFS image acquired on Saturday, 26 February 2000 when it reached over 1000 miles into the Atlantic. These storms and the rising warm air can lift dust 15,000 feet or so above the African deserts and then out across the Atlantic, many times reaching as far as the Caribbean where they often require the local weather services to issue air pollution alerts as was recently the case in San Juan, Puerto Rico. Recent studies by the U.S.G.S. (http://catbert.er.usgs.gov/african_dust/) have linked the decline of the coral reefs in the Caribbean to the increasing frequency and intensity of Saharan Dust events. Additionally, other studies suggest that Sahalian Dust may play a role in determining the frequency and intensity of hurricanes formed in the eastern Atlantic Ocean (<http://www.thirdworld.org/role.html>)
Provided by the SeaWiFS Project, NASA/GSFC and ORBIMAGE

Las zonas ricas en nutrientes y poco productivas reciben poco hierro

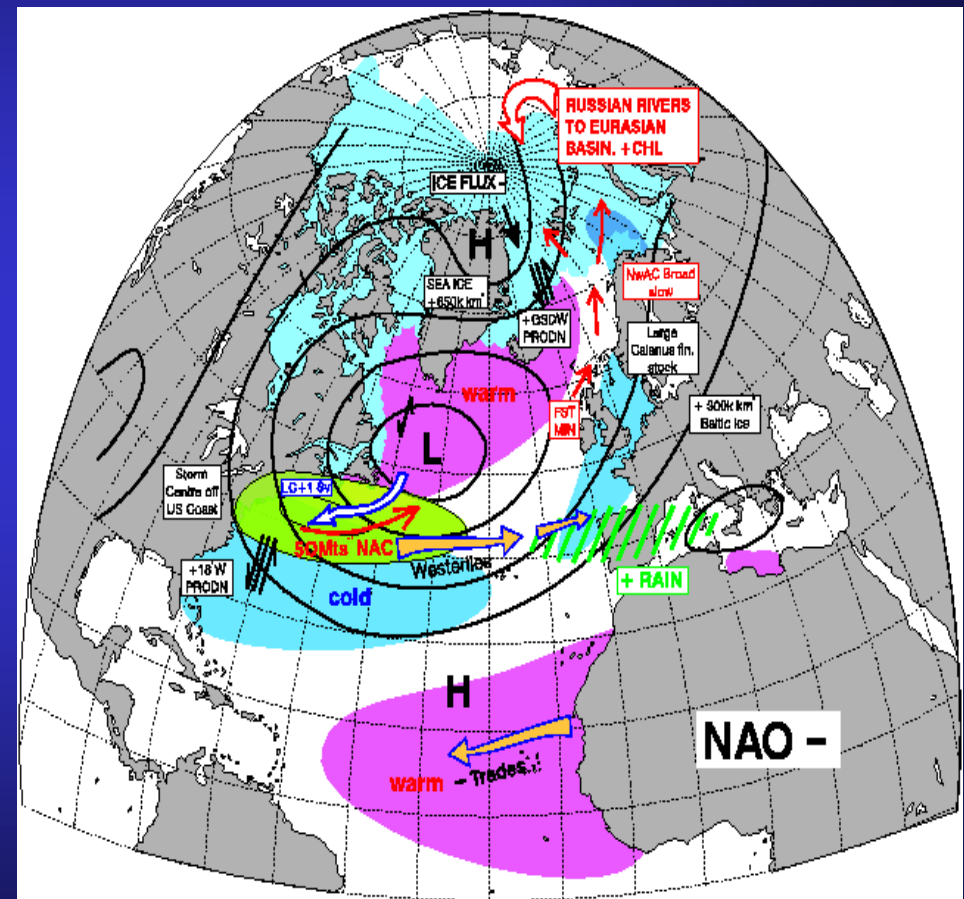
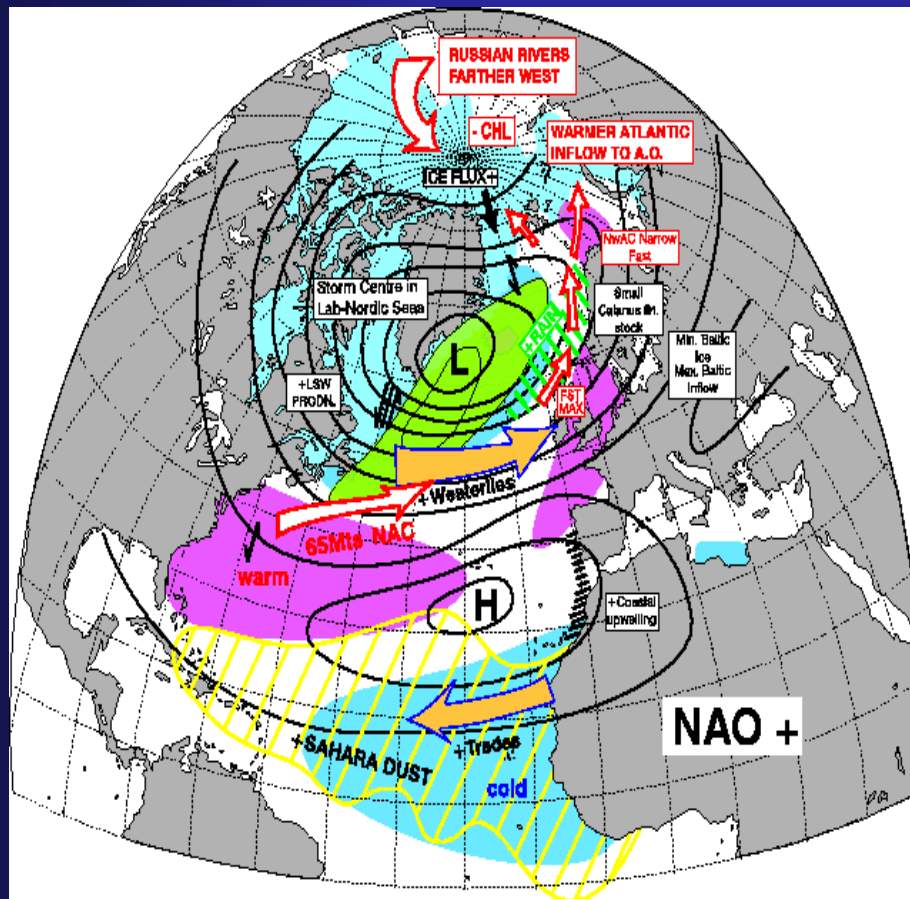


Nitrate Concentrations in Surface Waters

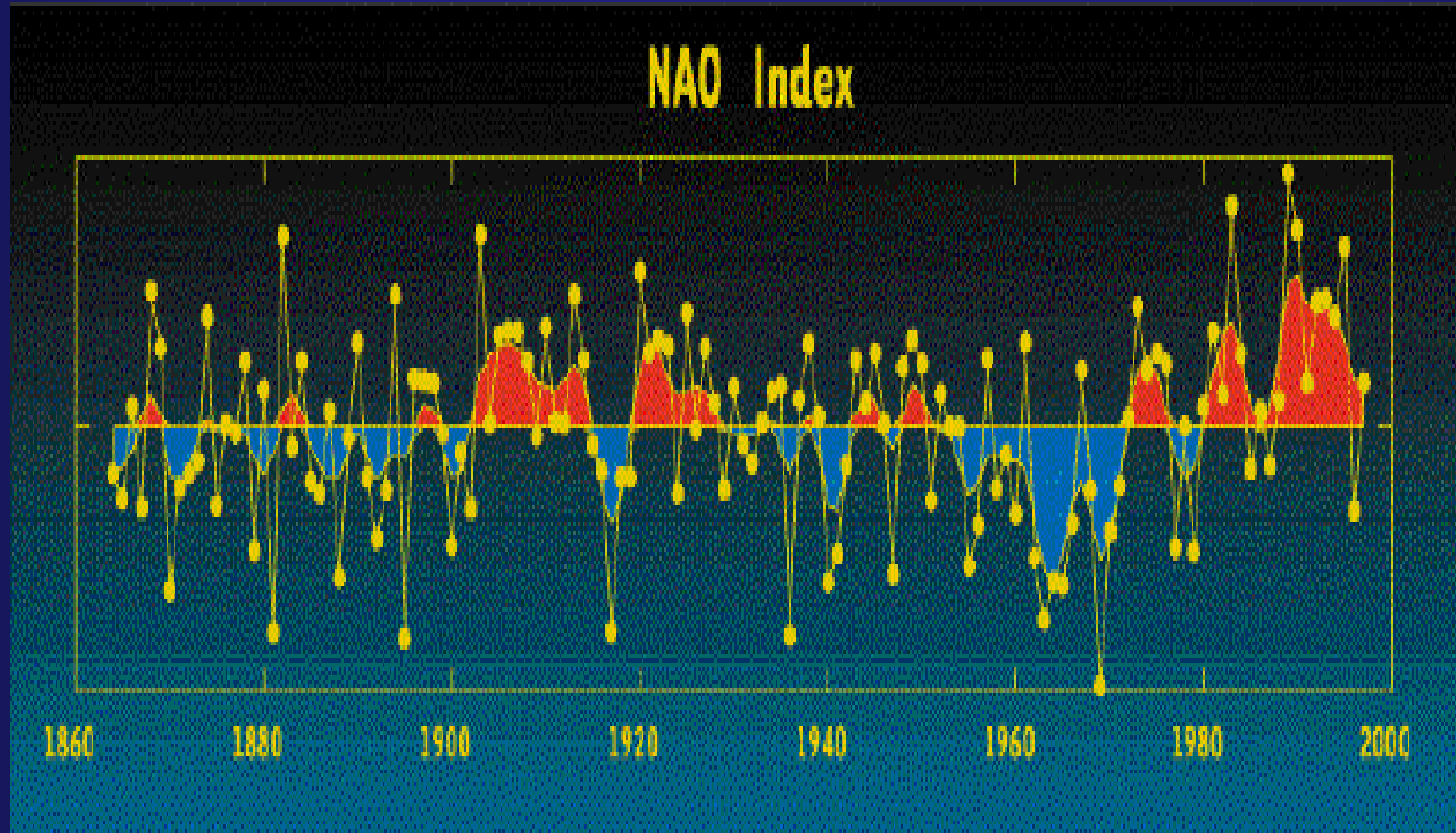


**¿Cuál será la evolución del aporte de materia desde la atmósfera
en un escenario de cambio climático?**

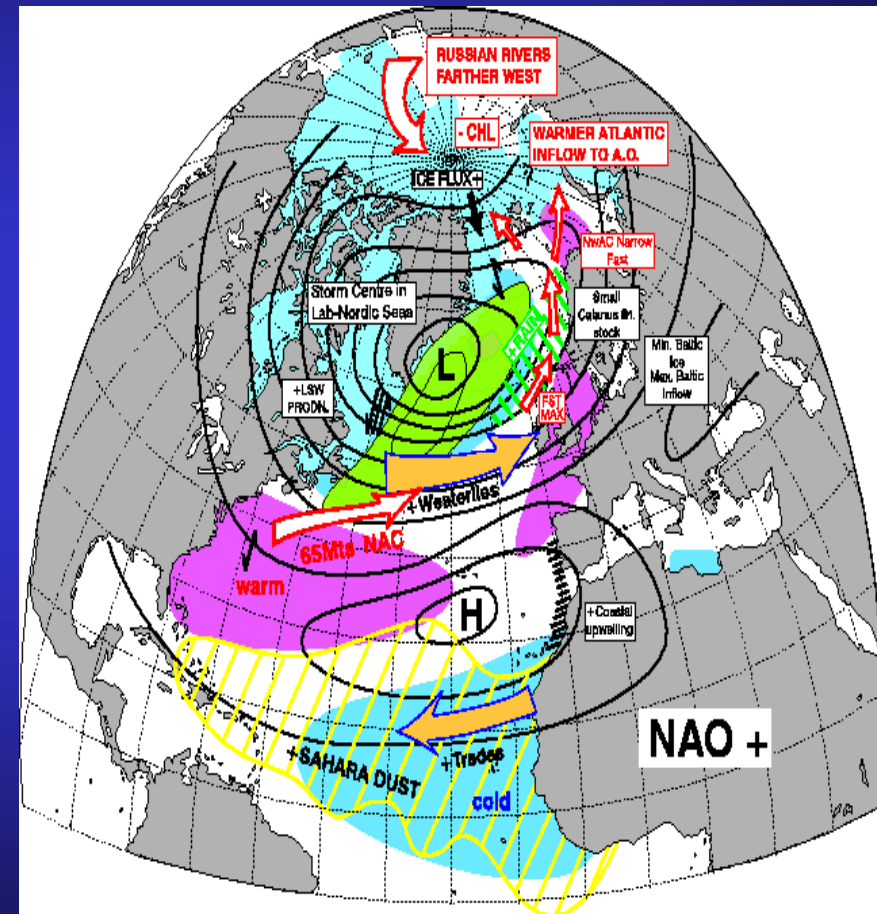
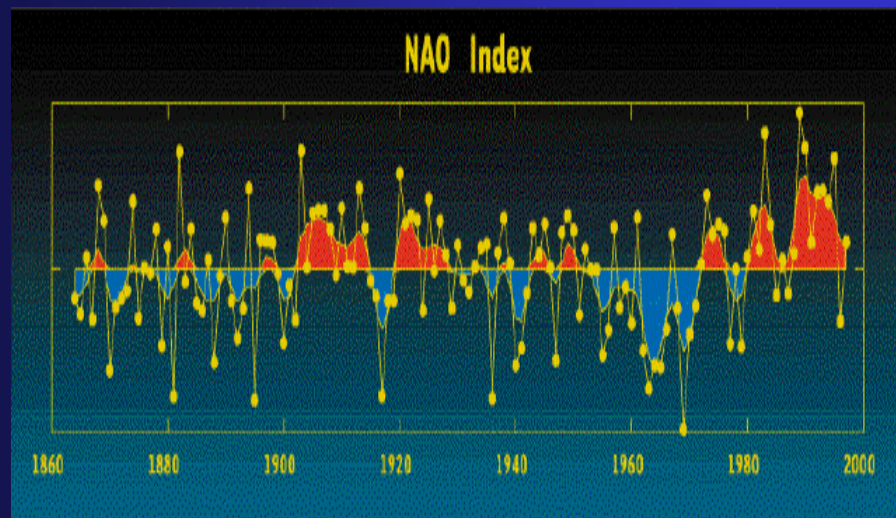
La oscilación del Atlántico Norte (NAO) regula el clima del Atlántico Norte a gran escala



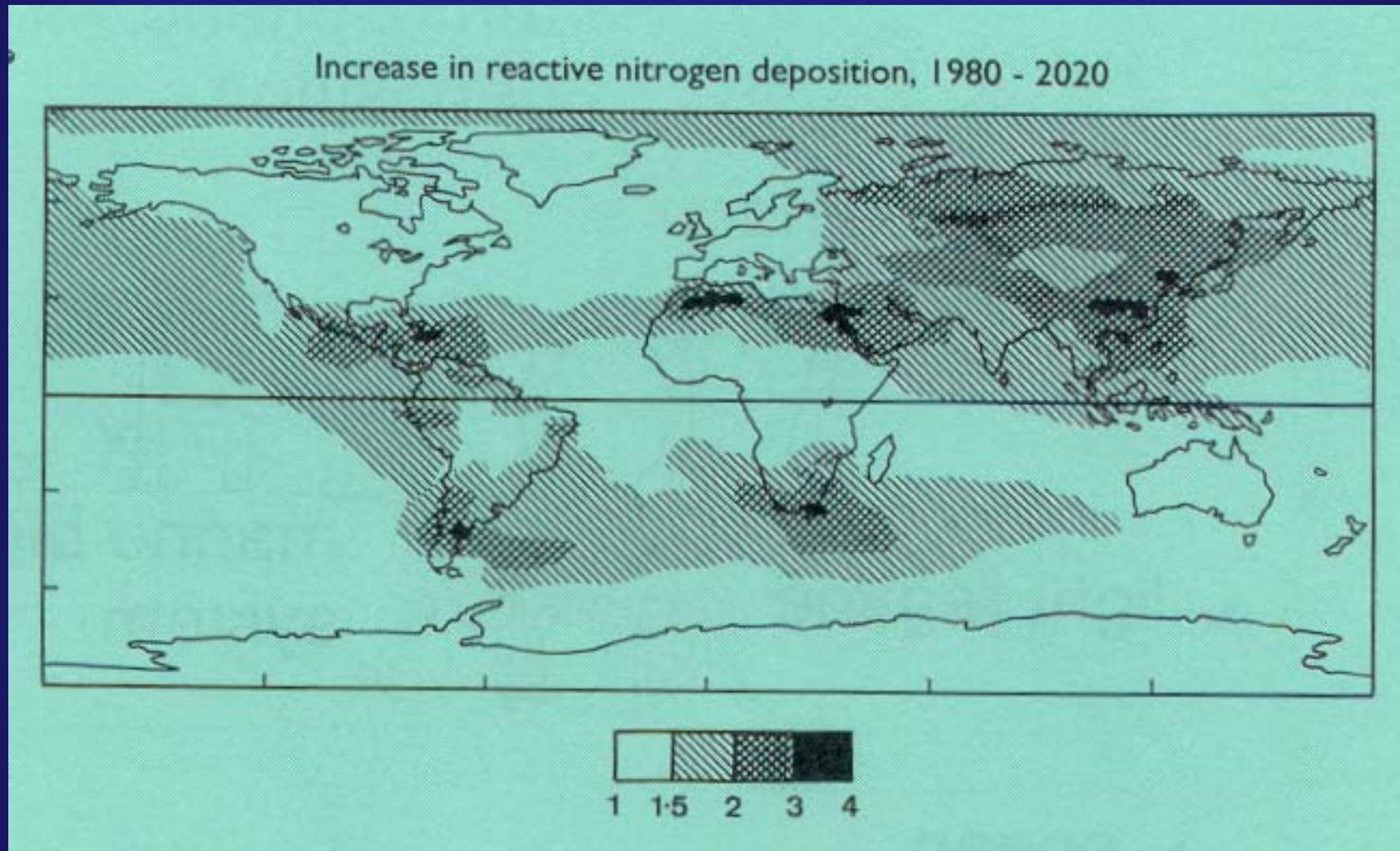
El índice de la NAO parece que tiende a aumentar con el calentamiento global



Los modelos predicen mayores aportes de materia desde la atmósfera en algunas regiones

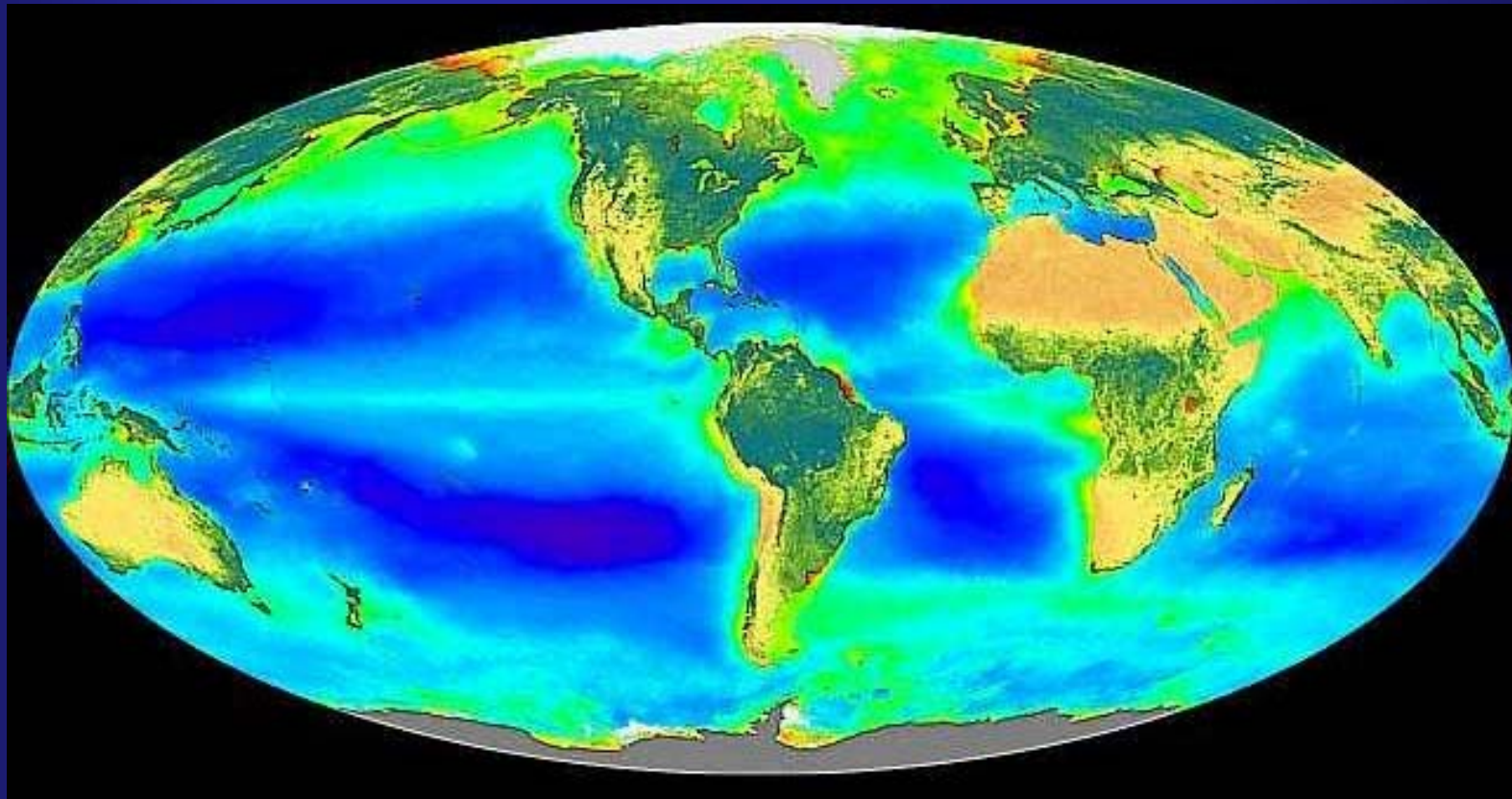


El flujo de nitrógeno desde la atmósfera es significativo ...
y se espera que aumente



Galloway et al. (1995)

La fertilización desde la atmósfera afecta a los grandes desiertos oceánicos



↑ FERTILIZACIÓN (N, Fe, Si, etc.)

```
graph TD; A[↑ FERTILIZACIÓN (N, Fe, Si, etc.)] --> B[↑ PRODUCCIÓN PRIMARIA?]; A --> C[CAMBIO ESTRUCTURA COMUNIDADES]; B --> D[↑ P/R]; C --> E[↑ ORGANISMOS SILÍCEOS]; C --> F[↓ ORGANISMOS CALCÁREOS]; D --> G[↓ pCO₂]; E --> G; F --> G;
```

↑ PRODUCCIÓN PRIMARIA?

CAMBIO ESTRUCTURA COMUNIDADES

**↑
P/R**

**↑
ORGANISMOS SILÍCEOS**

↓ ORGANISMOS CALCÁREOS

↓ pCO₂

HIPÓTESIS DEL SILICIO

(Harrison, 2000)

↑ APOORTE DE MATERIA A TRAVÉS DE LA ATMÓSFERA
EN PERIODOS GLACIALES



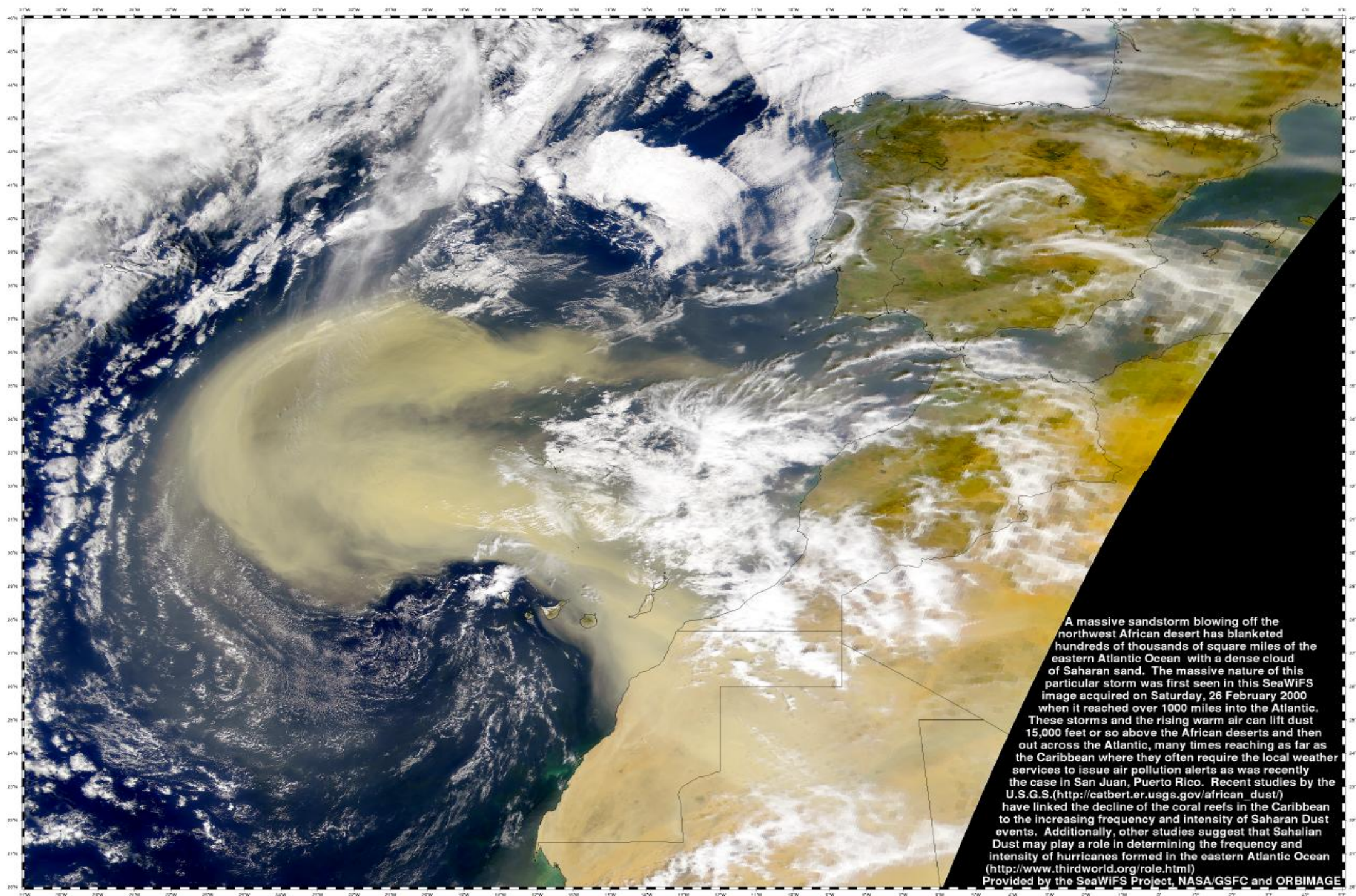
↑ APOORTE DE SILICIO



↑ ORGANISMOS SILÍCEOS

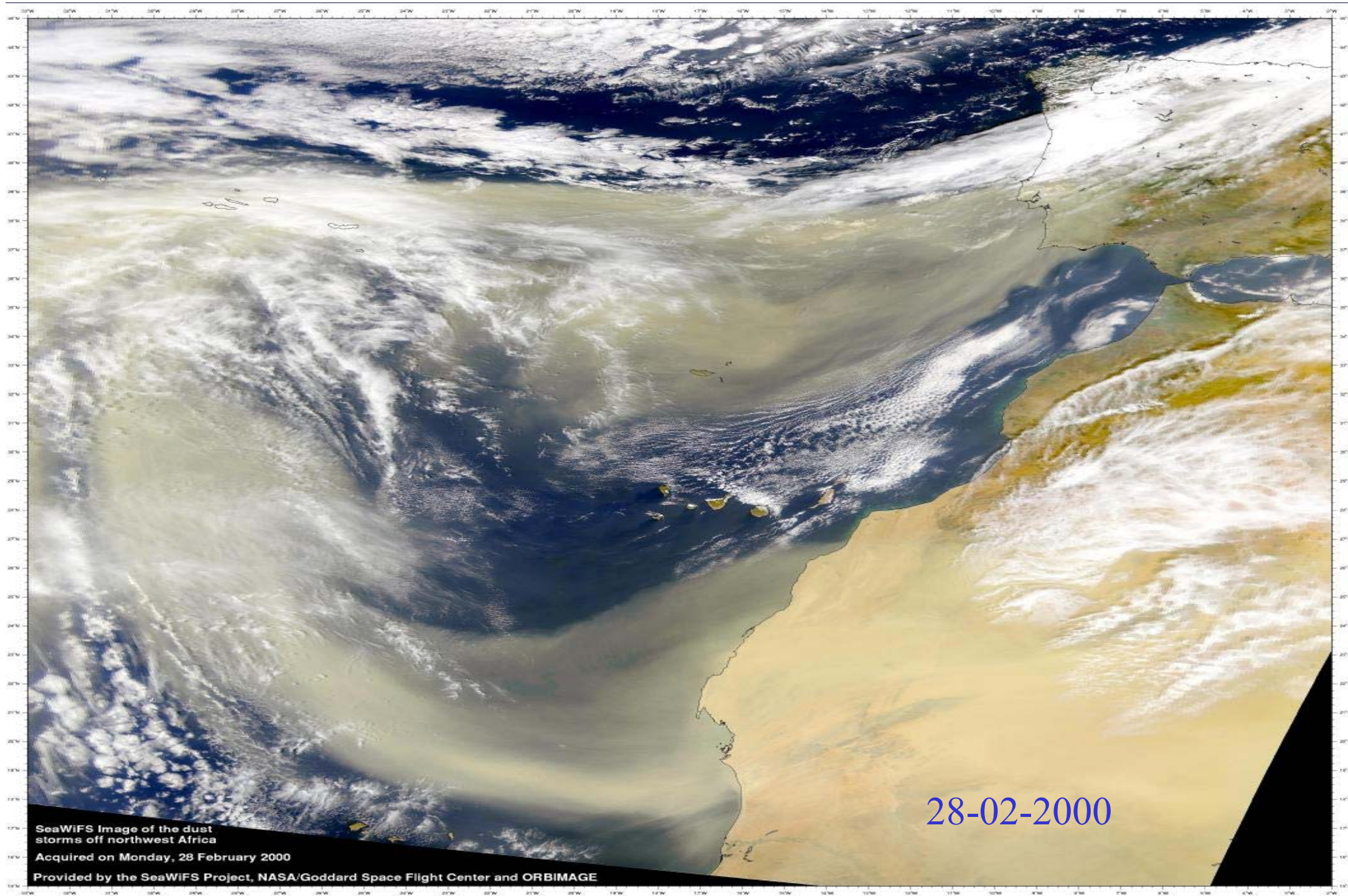


↓ pCO₂ CARACTERÍSTICO DEL PERIODO GLACIAL



A massive sandstorm blowing off the northwest African desert has blanketed hundreds of thousands of square miles of the eastern Atlantic Ocean with a dense cloud of Saharan sand. The massive nature of this particular storm was first seen in this SeaWiFS image acquired on Saturday, 26 February 2000 when it reached over 1000 miles into the Atlantic. These storms and the rising warm air can lift dust 15,000 feet or so above the African deserts and then out across the Atlantic, many times reaching as far as the Caribbean where they often require the local weather services to issue air pollution alerts as was recently the case in San Juan, Puerto Rico. Recent studies by the U.S.G.S. (http://catbert.er.usgs.gov/african_dust/) have linked the decline of the coral reefs in the Caribbean to the increasing frequency and intensity of Saharan Dust events. Additionally, other studies suggest that Sahalian Dust may play a role in determining the frequency and intensity of hurricanes formed in the eastern Atlantic Ocean (<http://www.thirdworld.org/role.html>)

Provided by the SeaWiFS Project, NASA/GSFC and ORBIMAGE



SeaWiFS Image of the dust
storms off northwest Africa

Acquired on Monday, 28 February 2000

Provided by the SeaWiFS Project, NASA/Goddard Space Flight Center and ORBIMAGE

28-02-2000

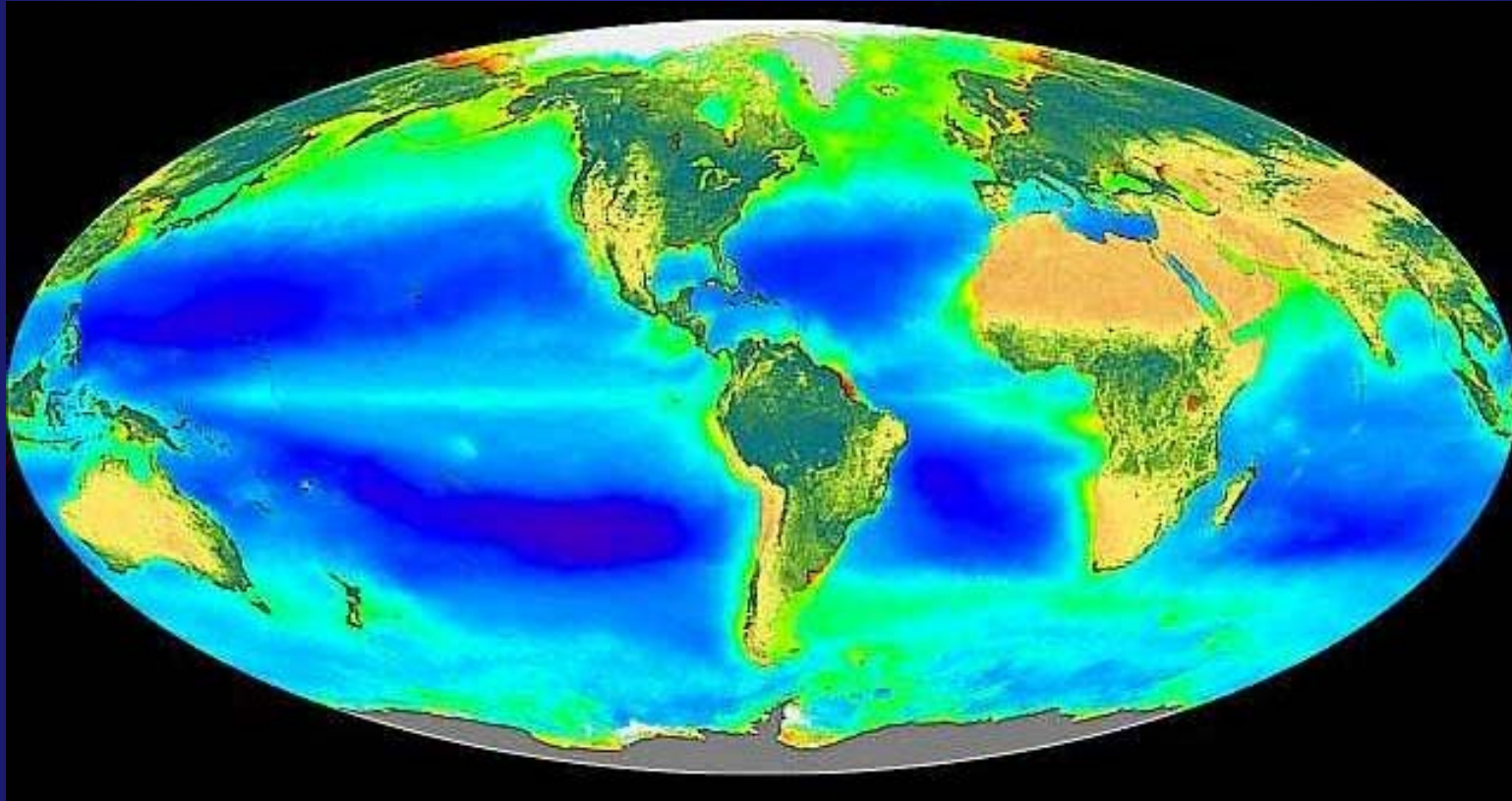


18-04-03

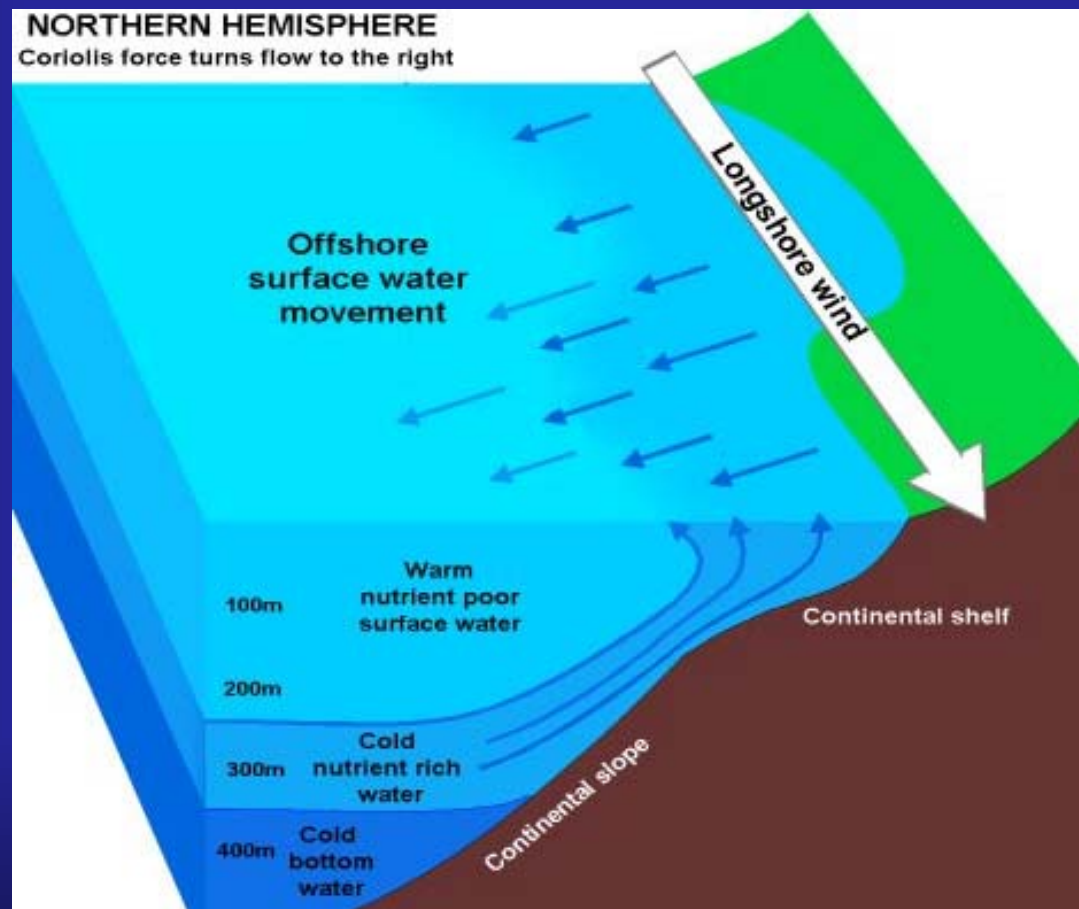
Cambios fertilización:afloramiento

- Fertilización por la atmósfera
- Fertilización desde el océano subsuperficial

La fertilización desde el océano profundo: cambios en los afloramientos costeros

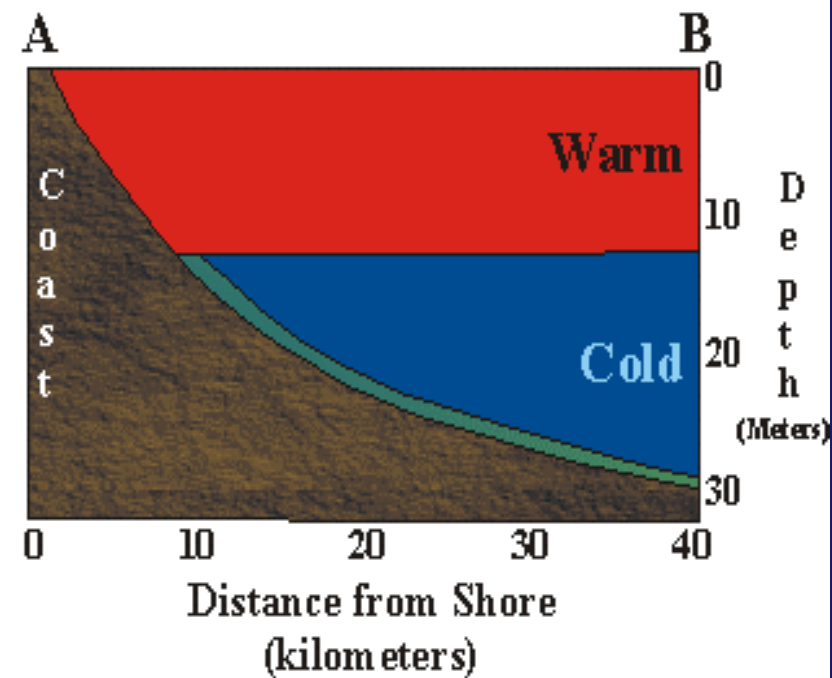
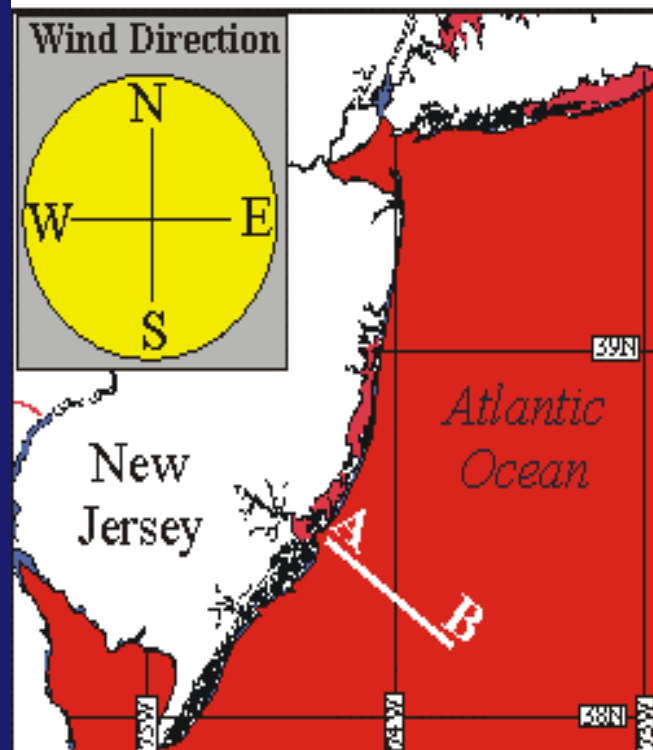


¿Qué es un afloramiento?

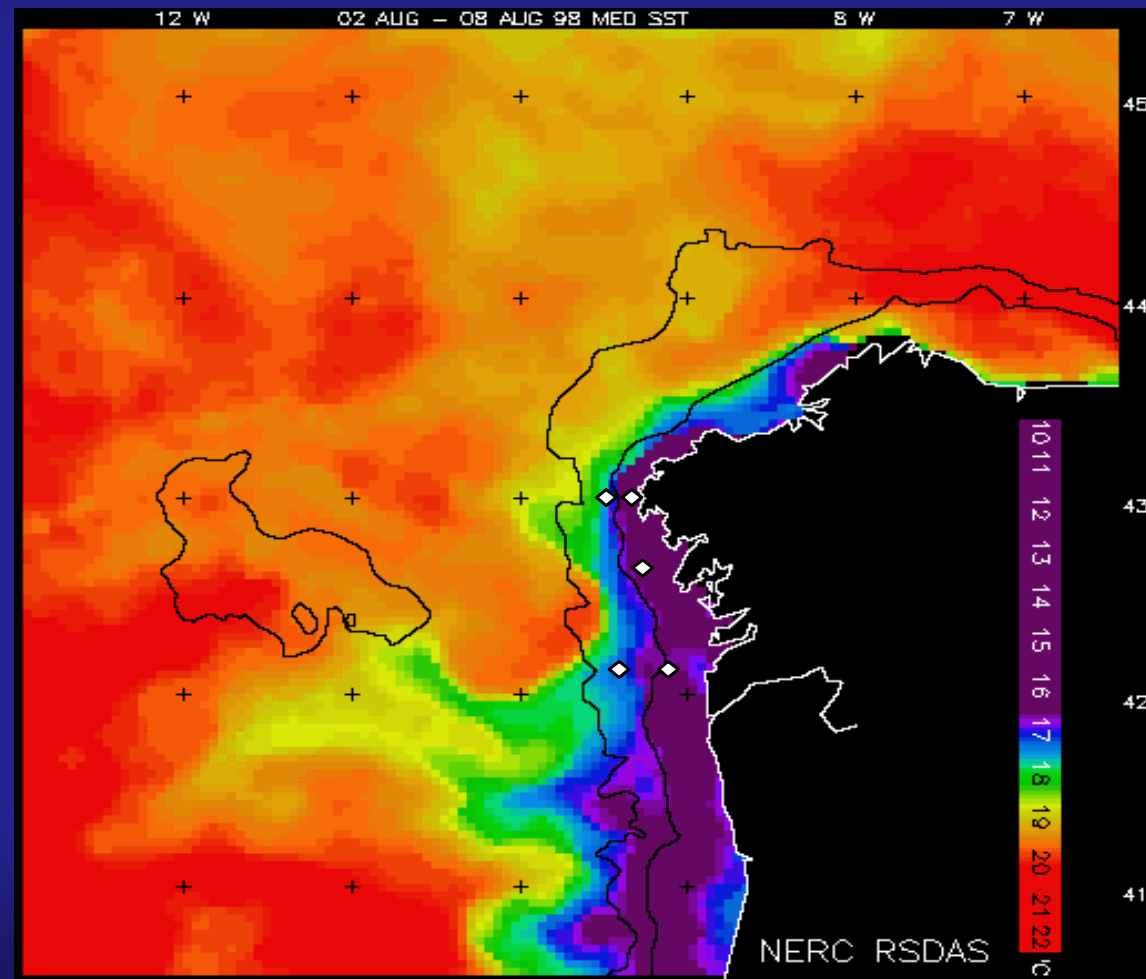


¿Qué es un afloramiento?

The Basics of Coastal Upwelling No Wind



El afloramiento del NW Ibérico



El afloramiento del NW Ibérico

Se muestra seguidamente en cuatro ventanas las variables densidad, temperatura, salinidad y clorofila, a lo largo de una sección transversal de la Ría de Arousa.

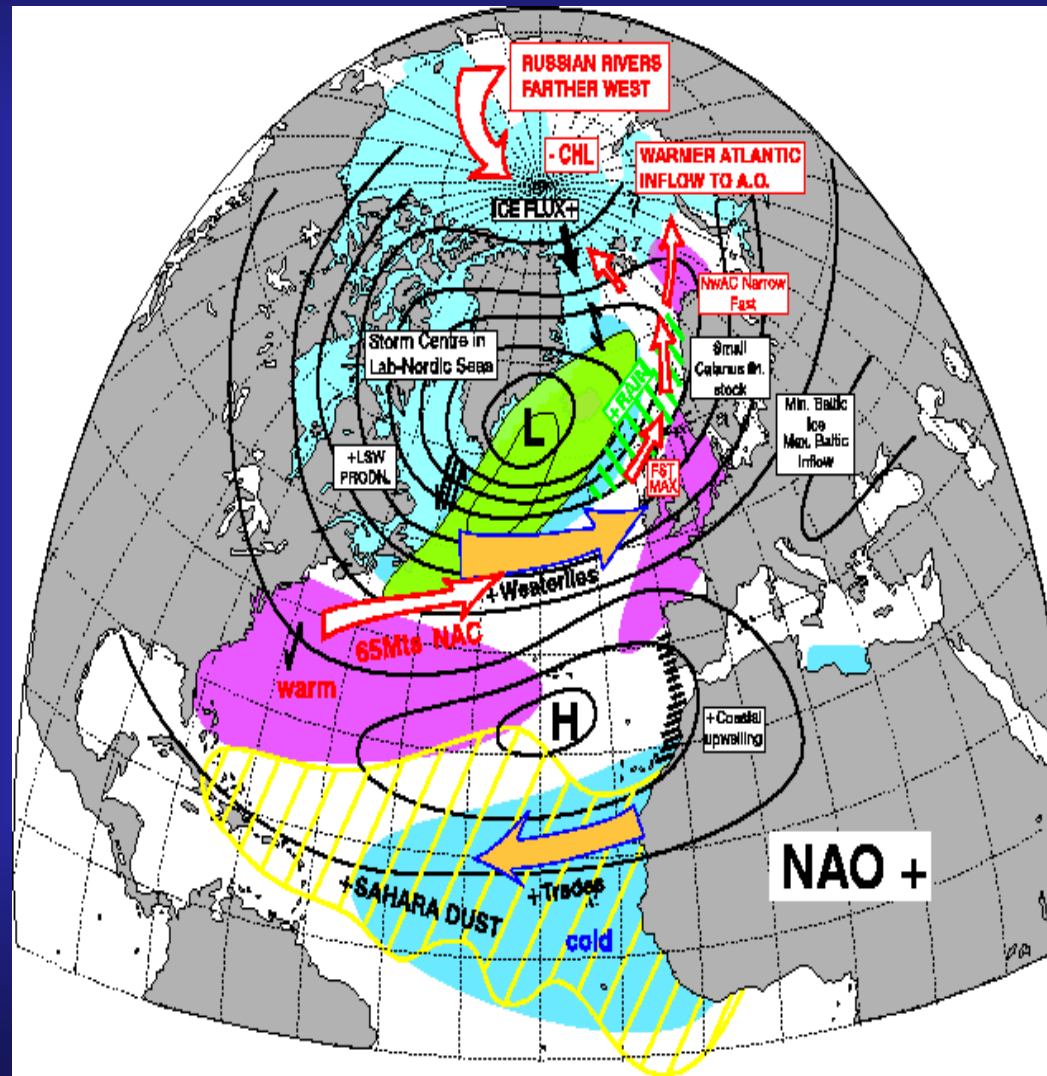
En el centro de la imagen se incluye un indicador de las condiciones de afloramiento/hundimiento originadas por el arrastre del viento en plataforma. En condiciones de afloramiento una barra de color azul indicará la intensidad del mismo hasta valores de $3000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-1}$ de costa. En condiciones de hundimiento una barra de color rojo se extiende hacia abajo hasta valores de $3000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-1}$.

Las imágenes son resultado de la interpolación de datos reales obtenidos en muestreos realizados los lunes y los jueves de cada semana desde el 15 de mayo a 30 de octubre de 1989.

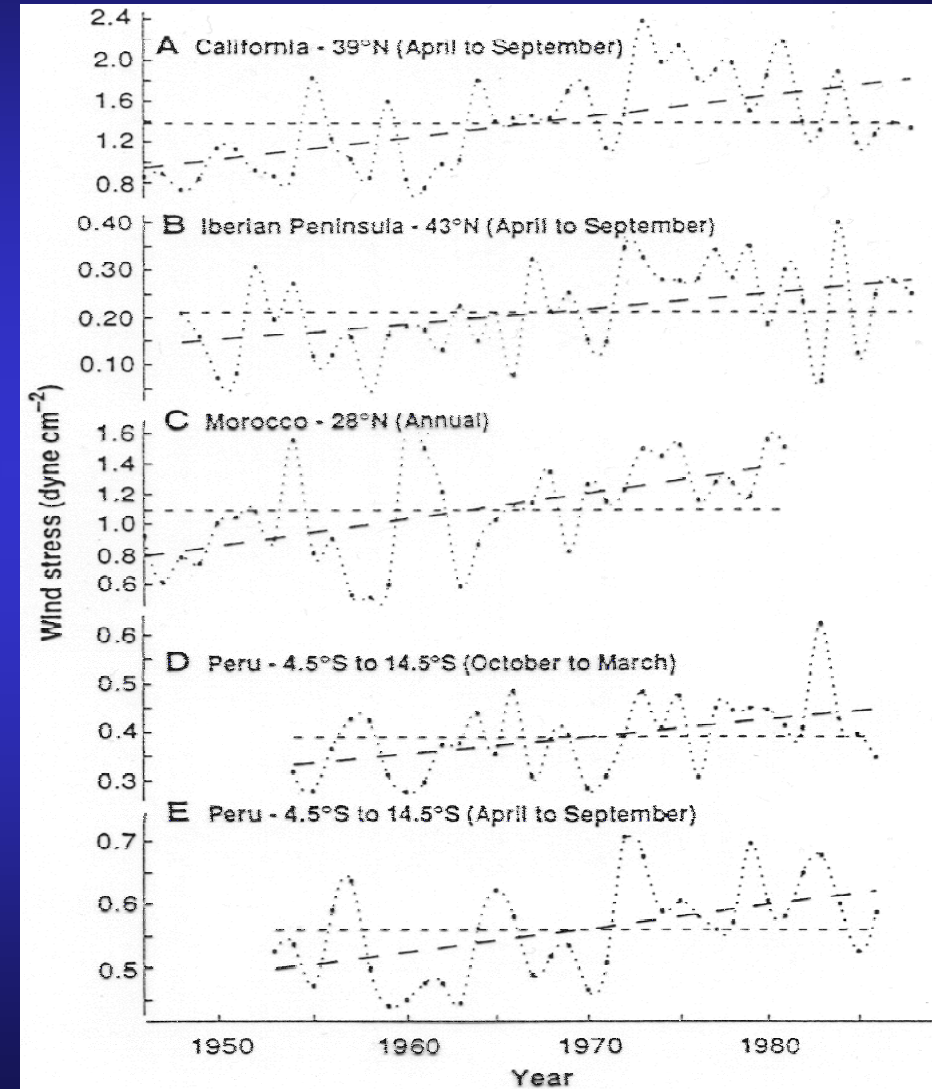
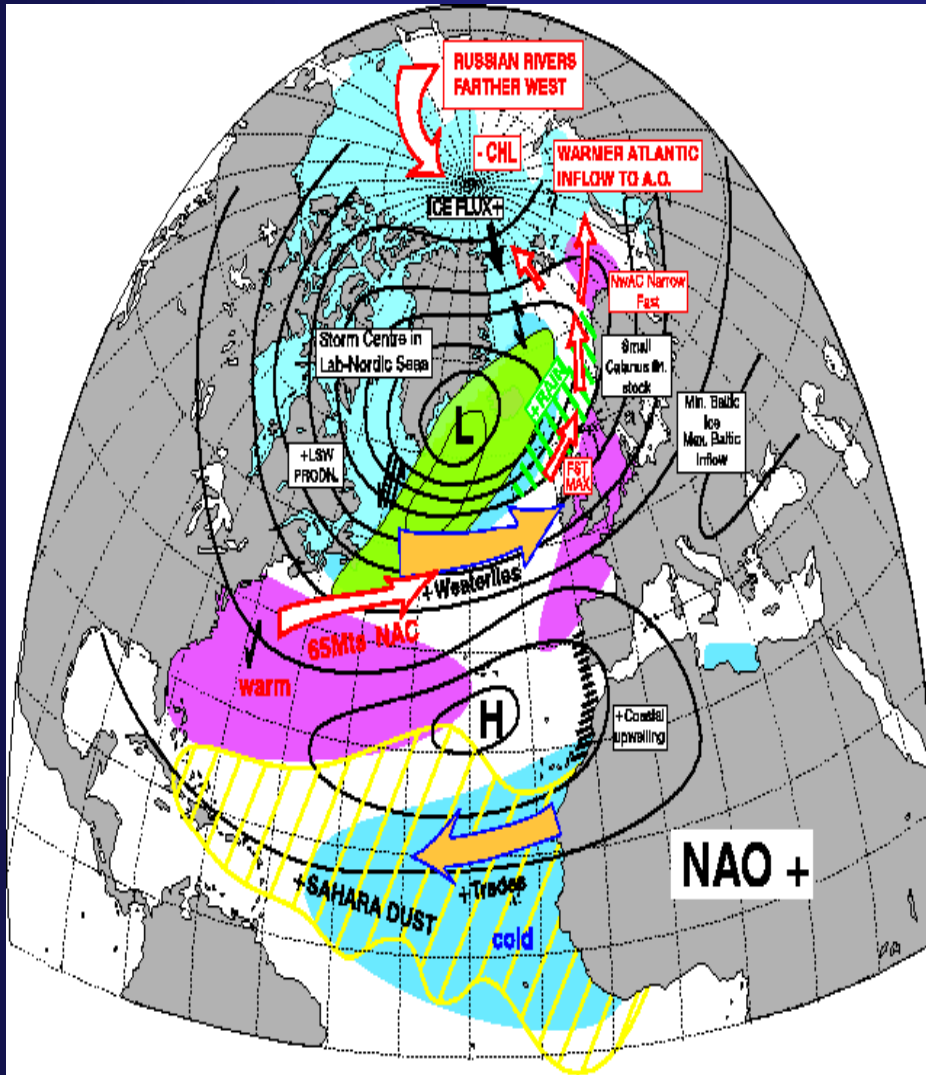
Termohalino.AVI

Cortesía de IIM (CSIC)

Cambios en los procesos de enriquecimiento

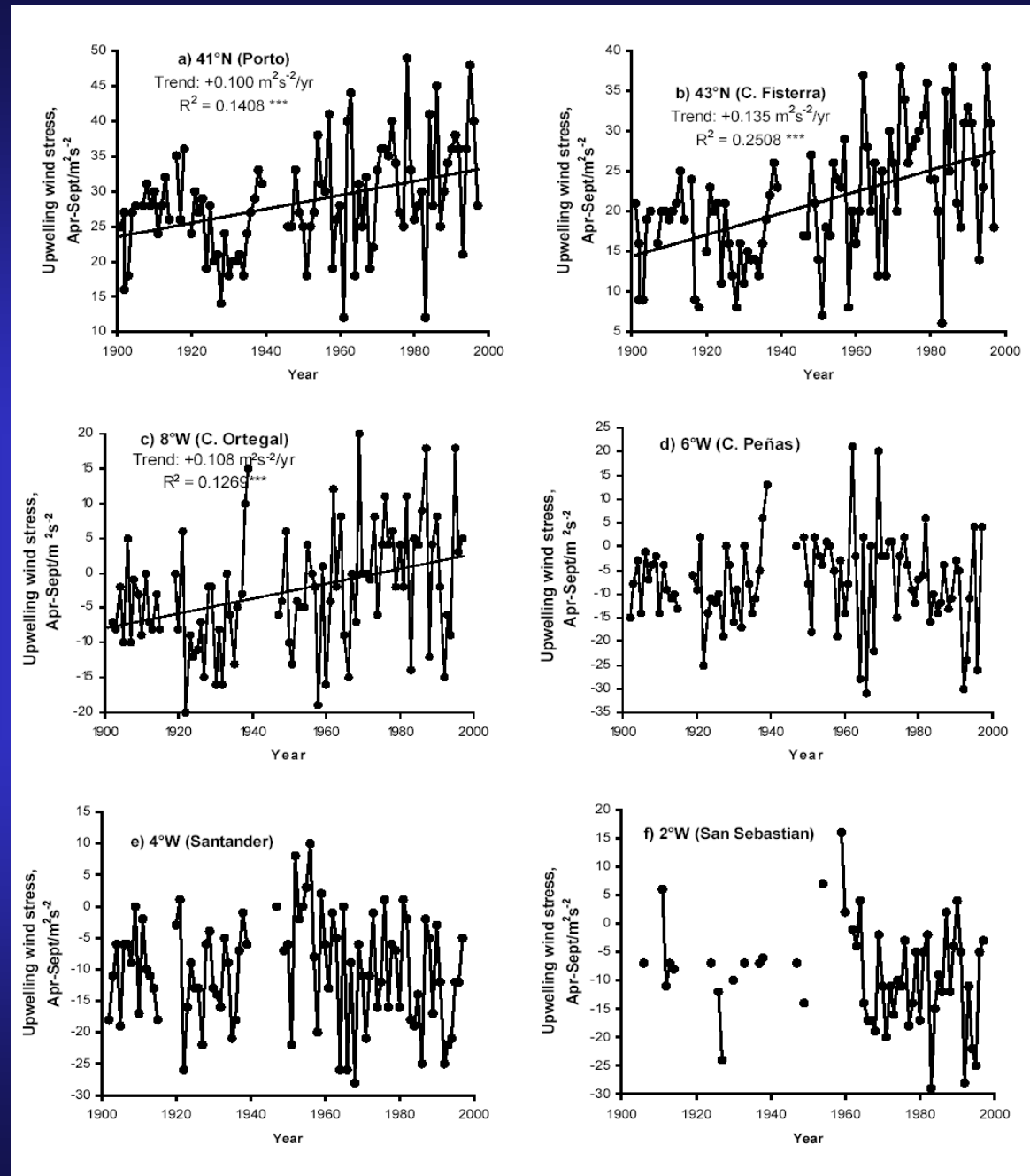


El incremento de la intensidad de afloramiento parece ser un fenómeno general

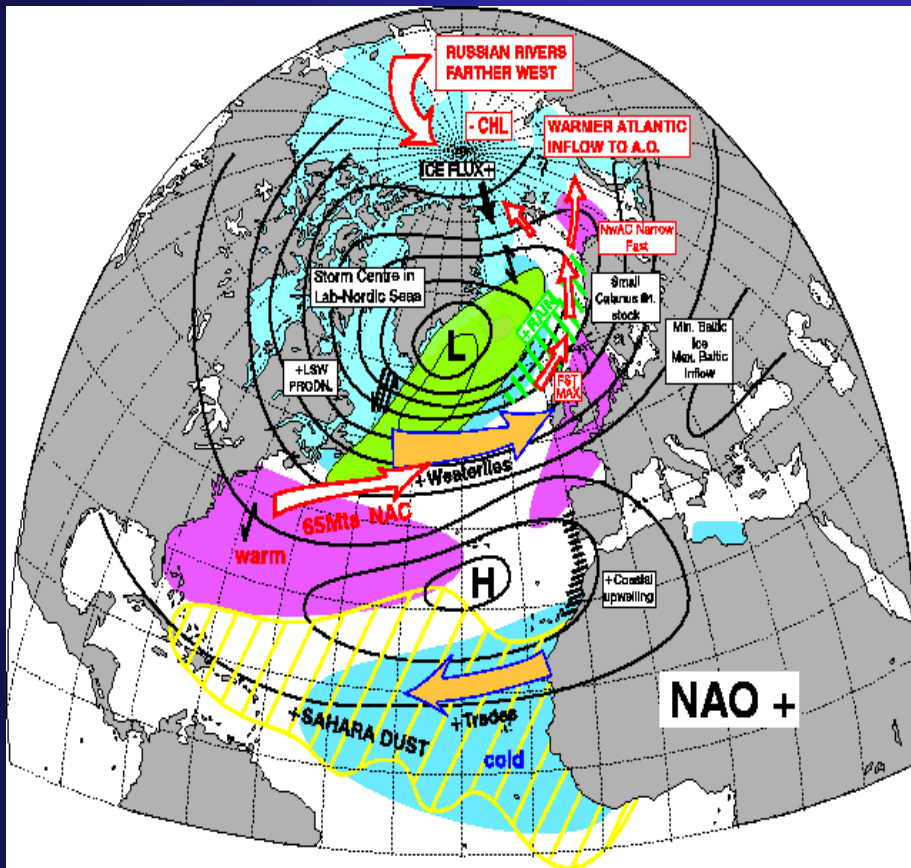


El incremento de la
intensidad de afloramiento
se detecta en nuestras costas

...



... e incluso en nuestras rías (1987-1993)



Variabilidad interanual (Ría de Vigo)

Variable	%annual variación
Fosfato	+ 7.0
Amonio	+ 3.3
Temperatura	- 0.55
Salinidad	+ 0.6
Clorofila a	-12.3

Nogueira et al. (1996)

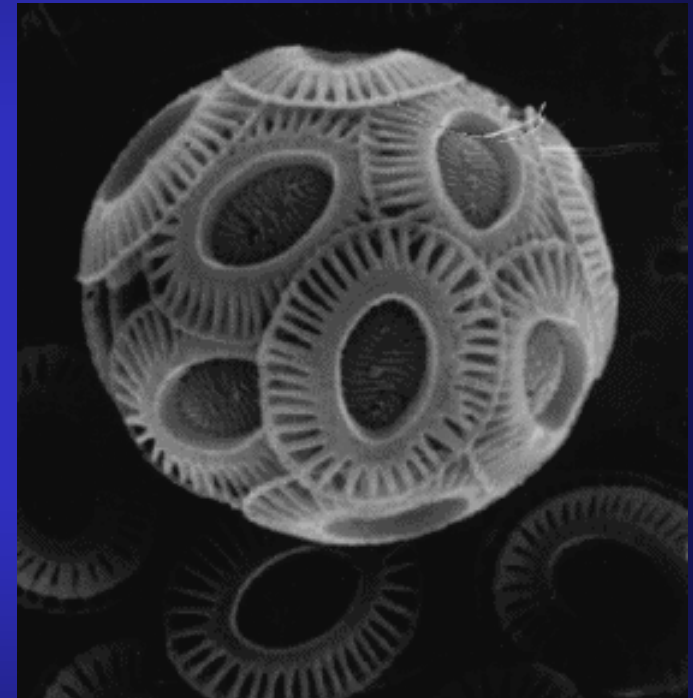
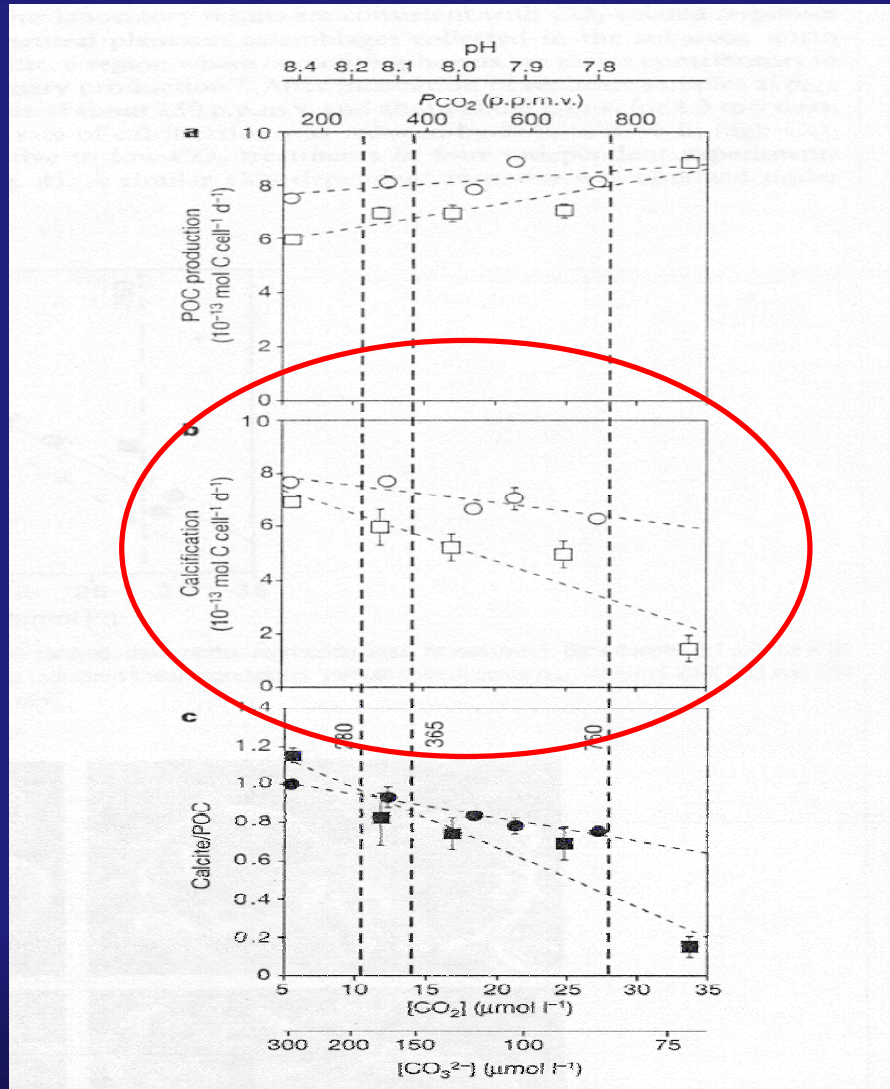
Cambios límite distribución

ESQUEMA DE LA EXPOSICIÓN

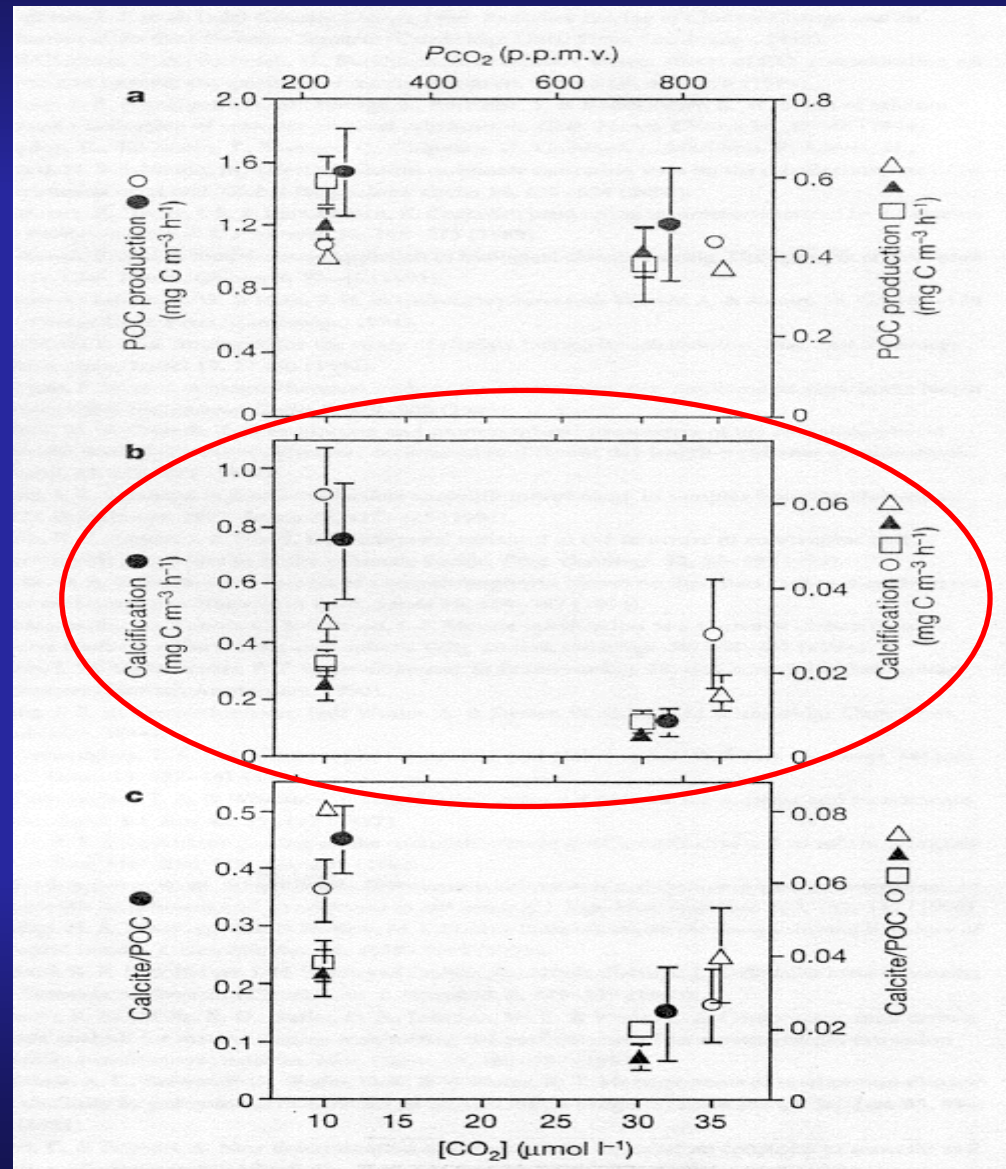
- ΔCO_2 y calentamiento global
- Calentamiento del océano
- Aumento del nivel del mar
- CO_2 antropogénico
- Cambios en los patrones de fertilización
- **Cambios en las comunidades marinas**

Cambios en las comunidades pelágicas

El incremento de CO_2 reduce la producción de carbonato de calcio en el laboratorio ...

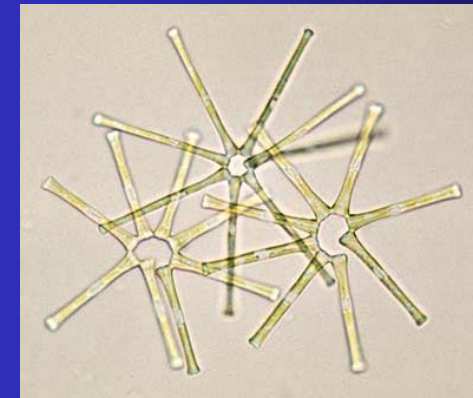
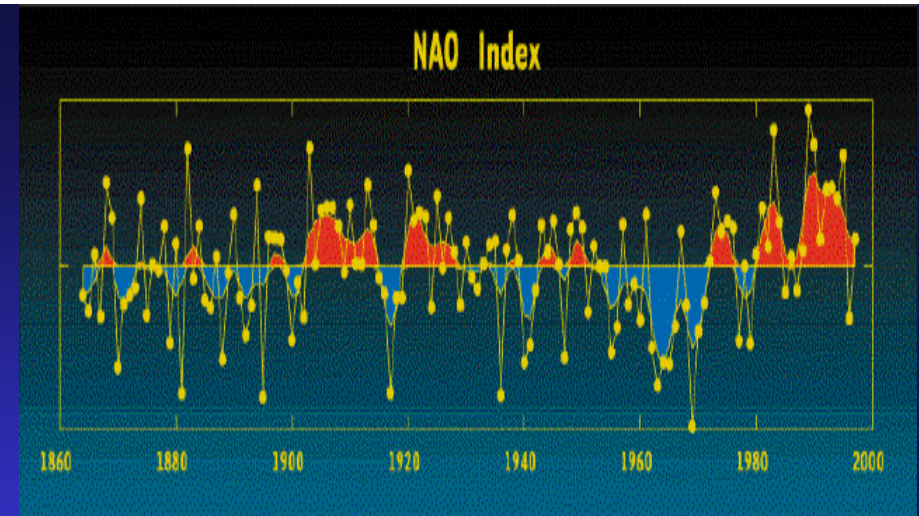
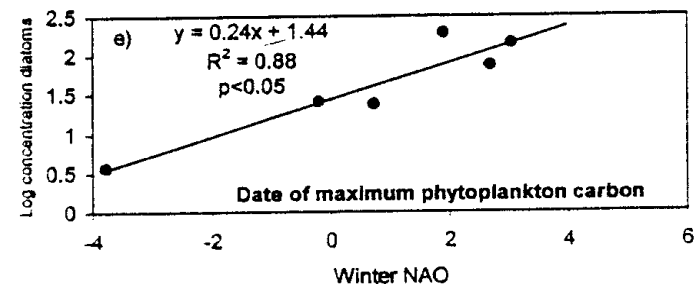
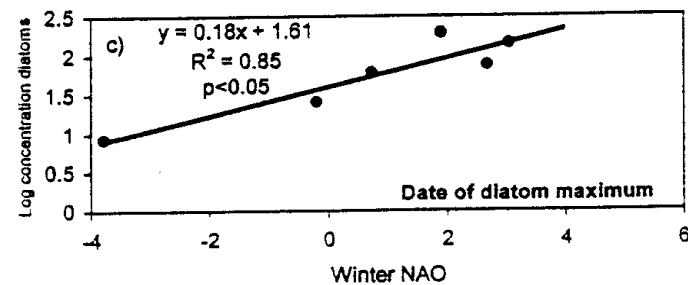
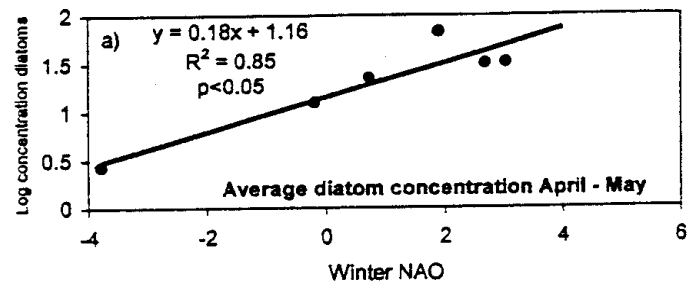


... y en el océano



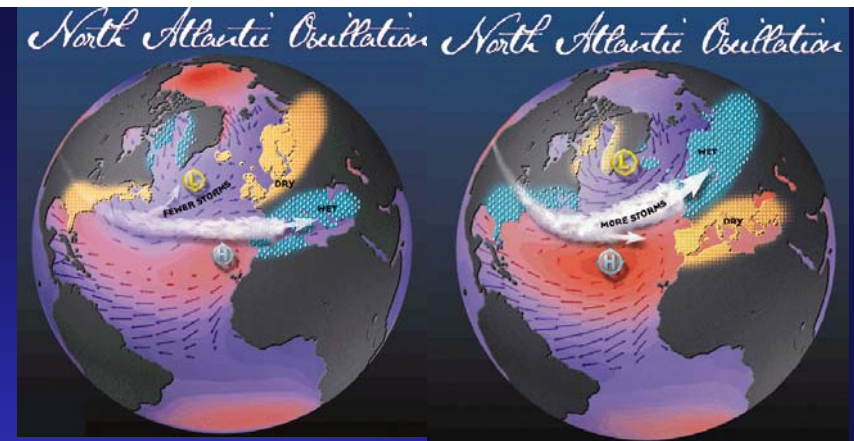
NAO y el plancton del Atlántico NE

Fitoplancton



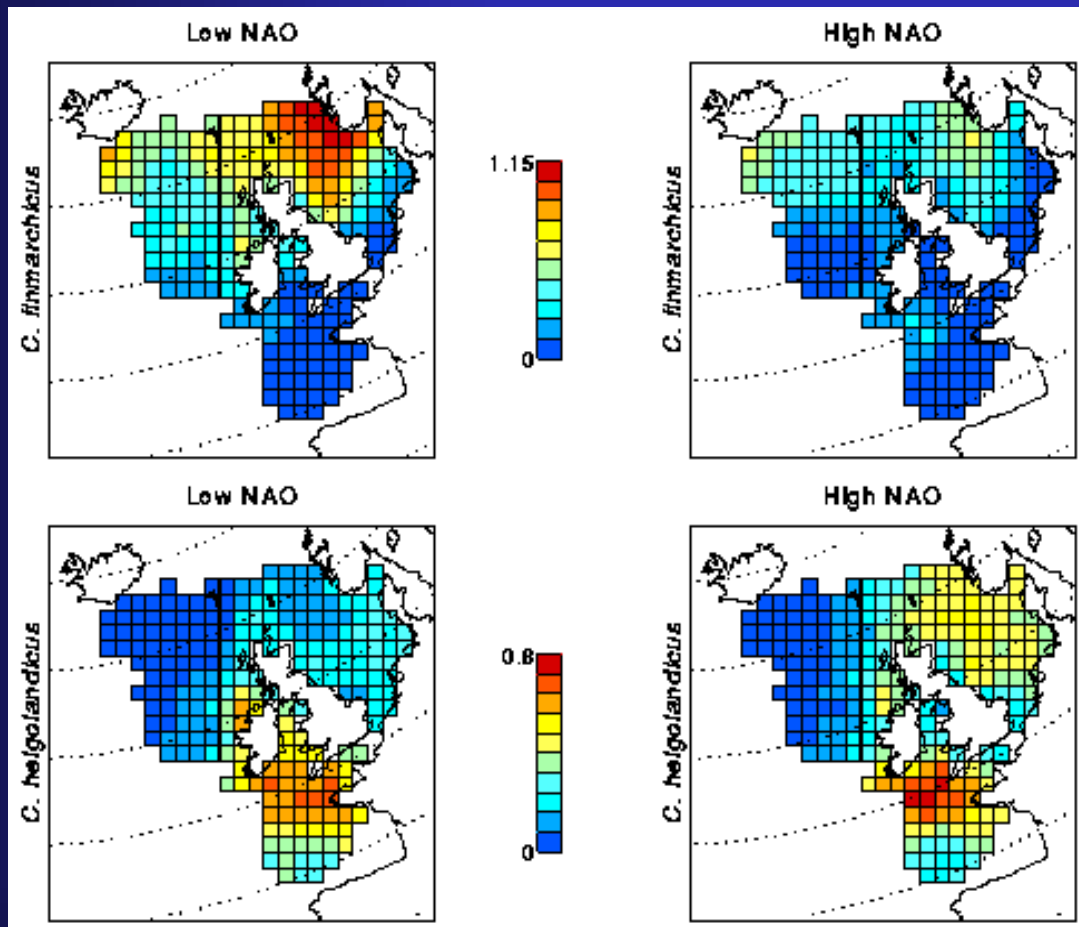
NAO y el plancton del Atlántico NE

Zooplankton



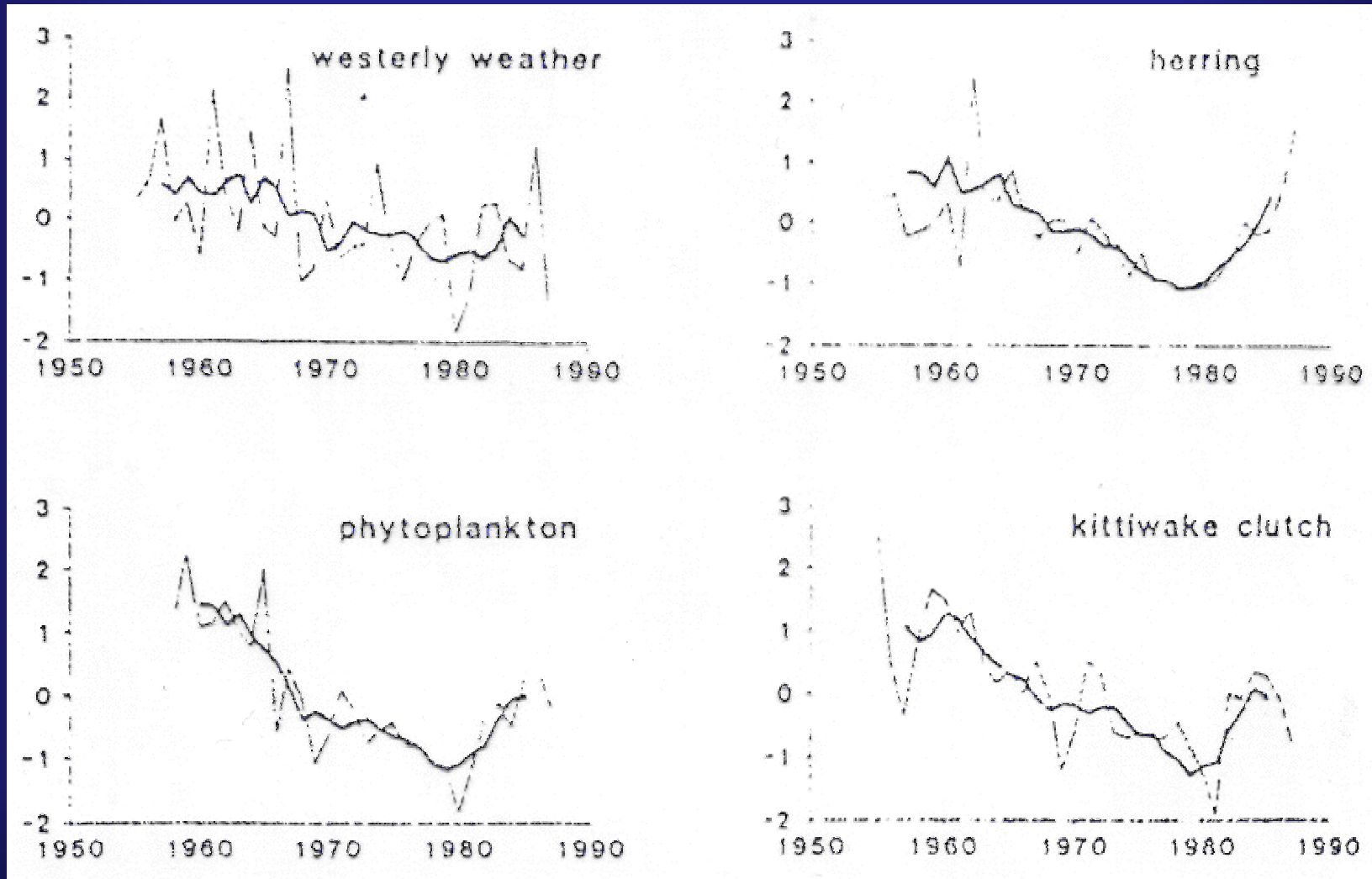
NAO -

NAO +

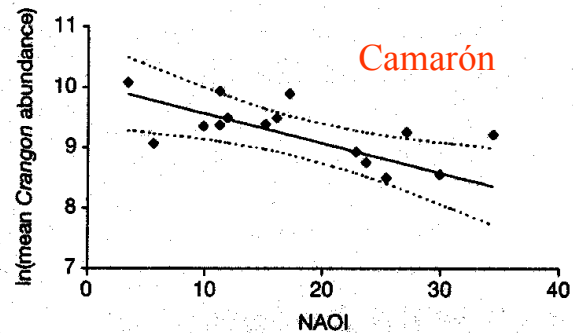
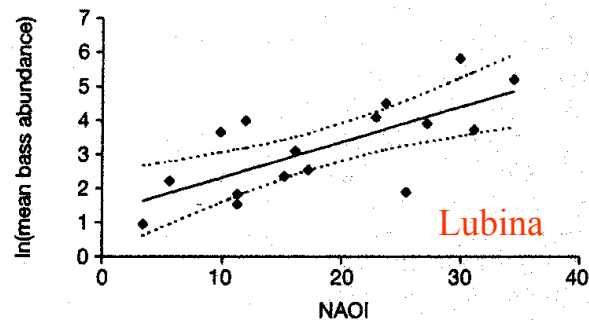
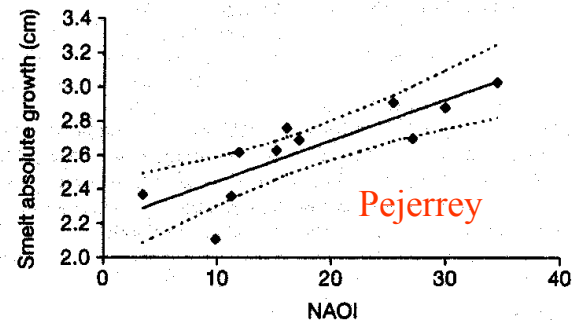
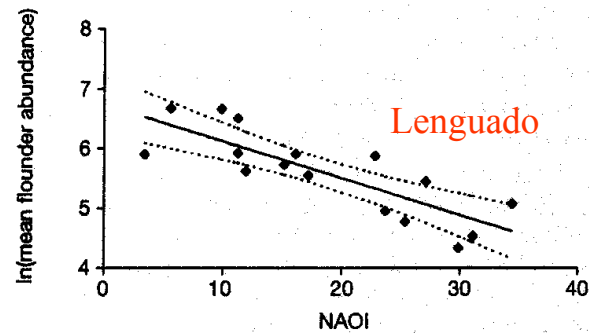
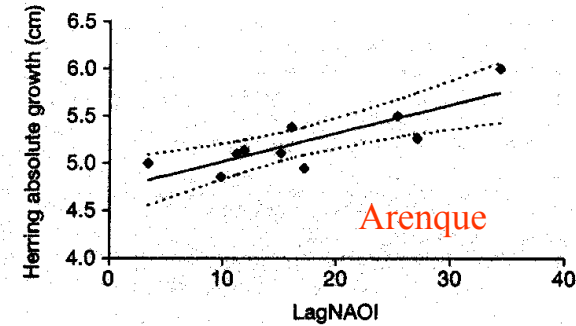
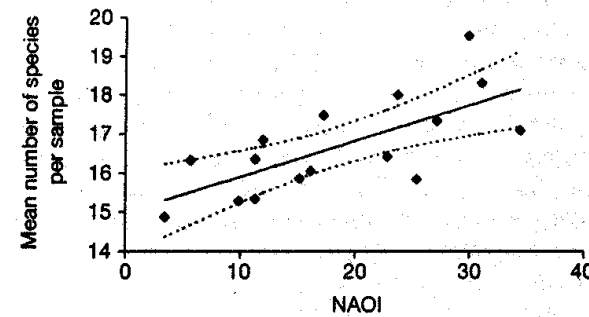


Calanus finmarchicus

Cambios en la intensidad de afloramiento induce cambios en la abundancia de poblaciones pelágicas

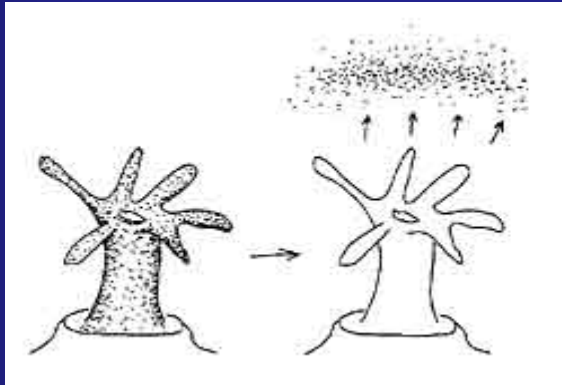


También se encuentran relaciones significativas entre NAO y el crecimiento y la abundancia de peces

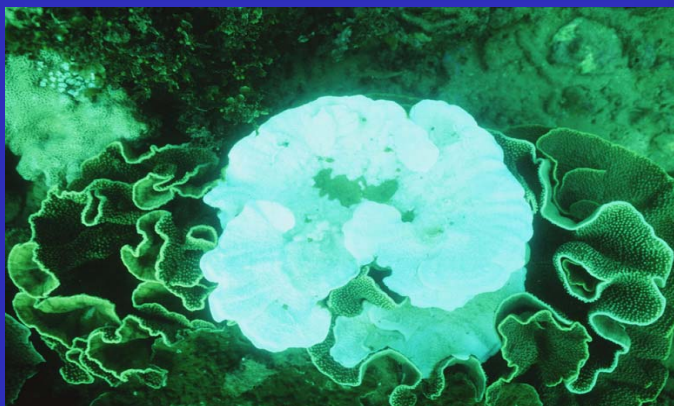


Cambios en las comunidades bentónicas

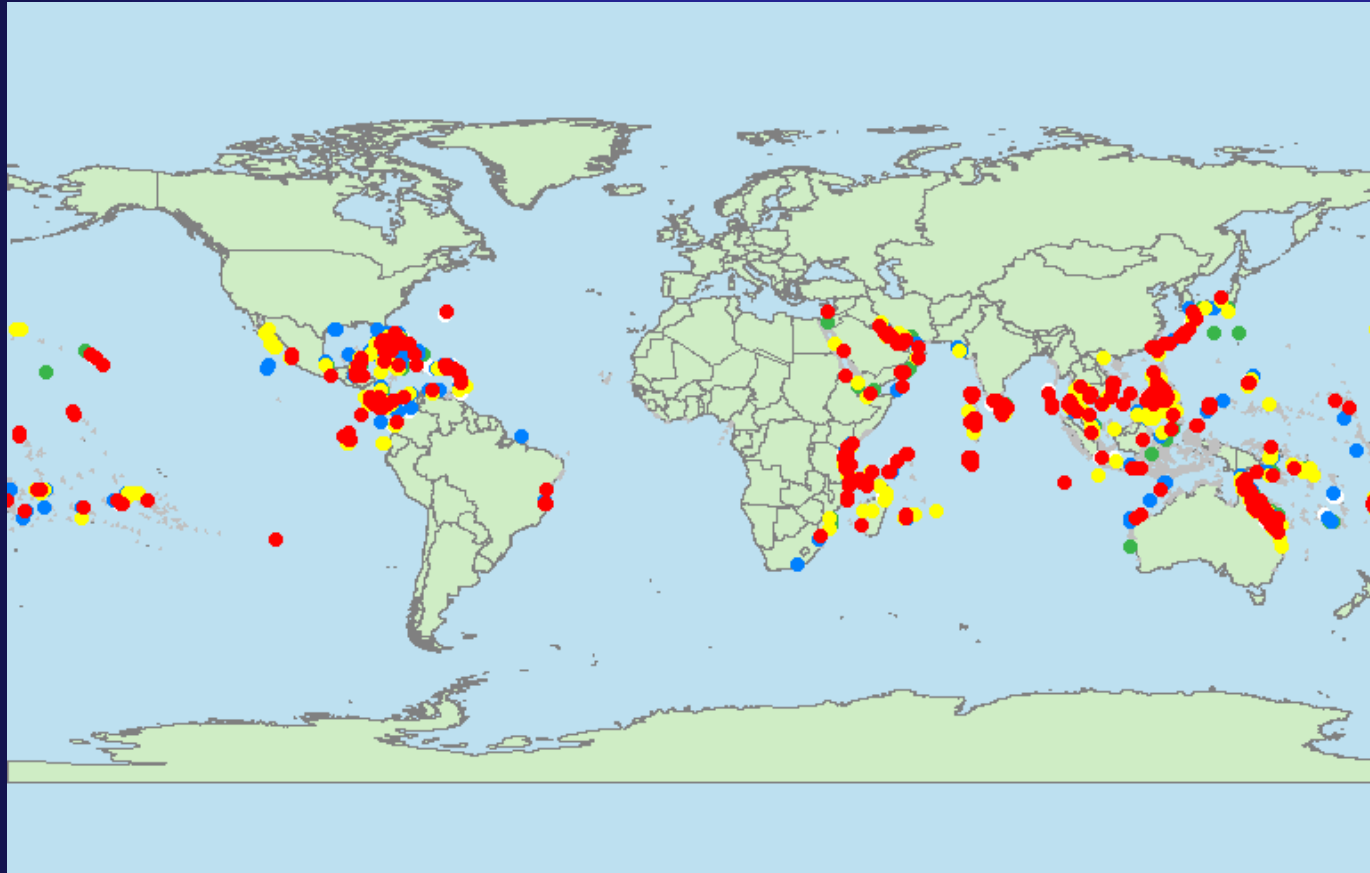
El incremento de temperatura ocasiona blanqueamiento de coral



Ejemplos de blanqueamiento

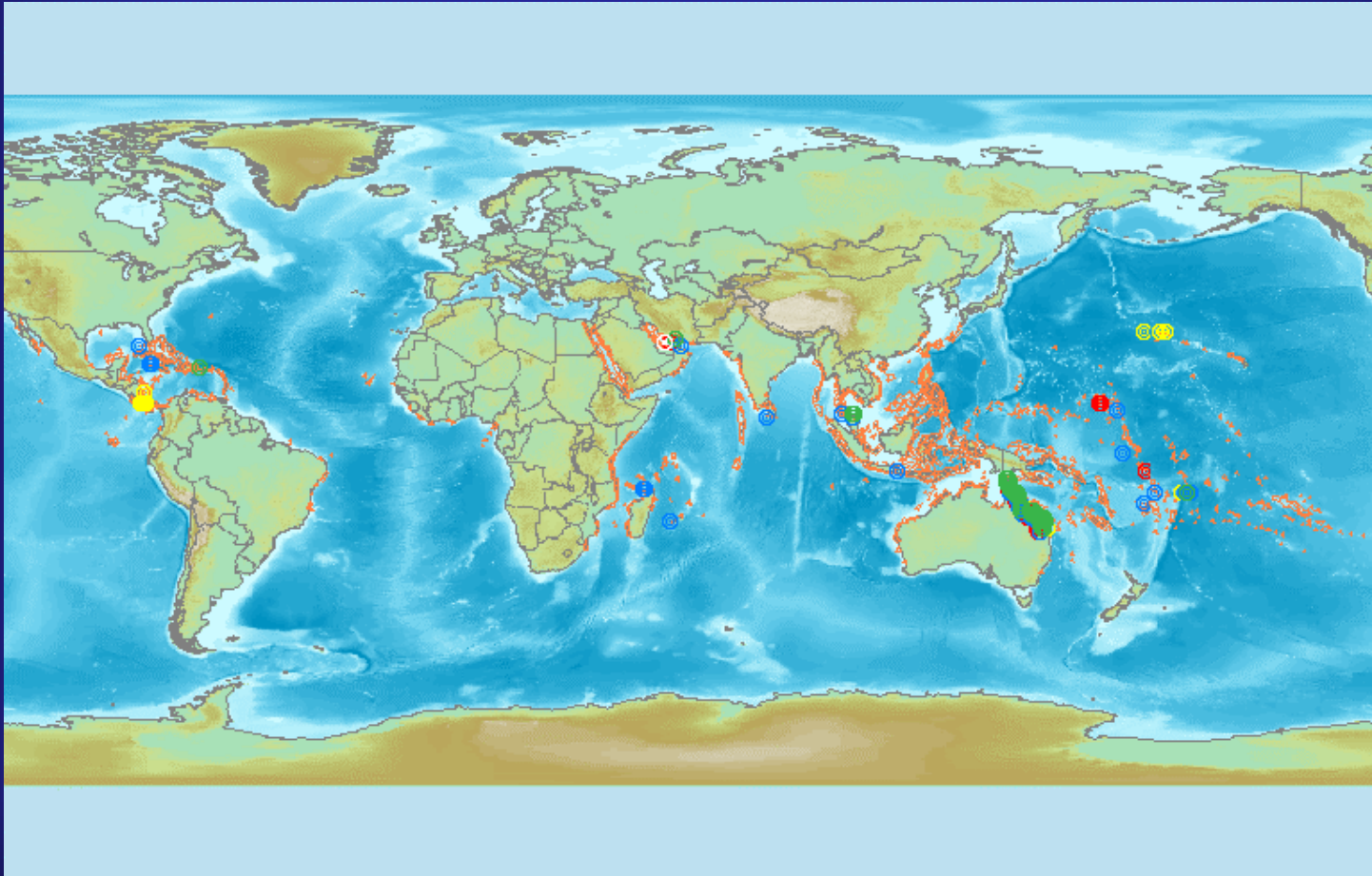


Eventos de blanqueamiento desde 1963



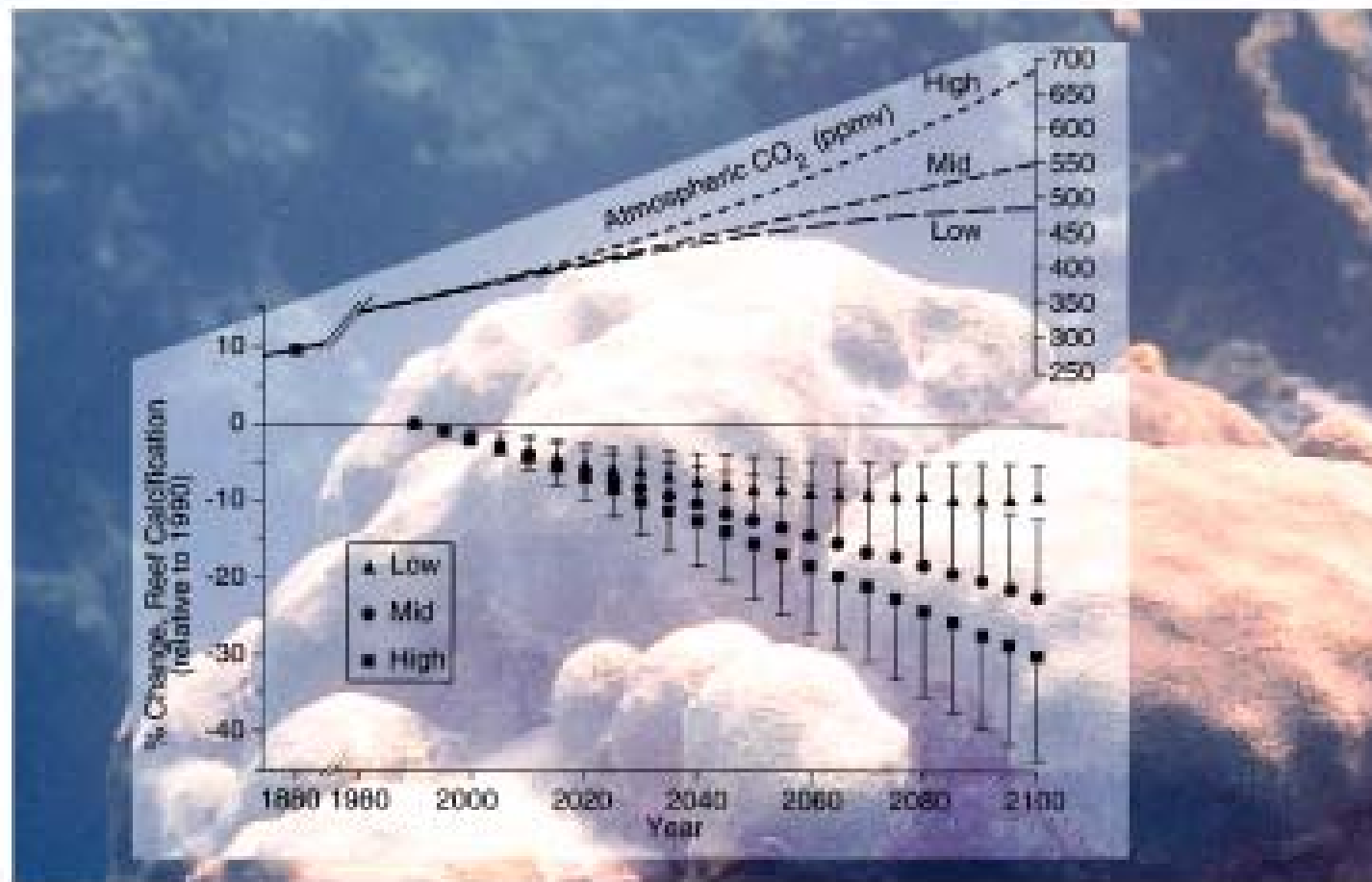
- No blanqueamiento
- Bajo nivel de blanqueamiento
- Blanqueamiento moderado
- Blanqueamiento severo

Eventos de blanqueamiento en 2002



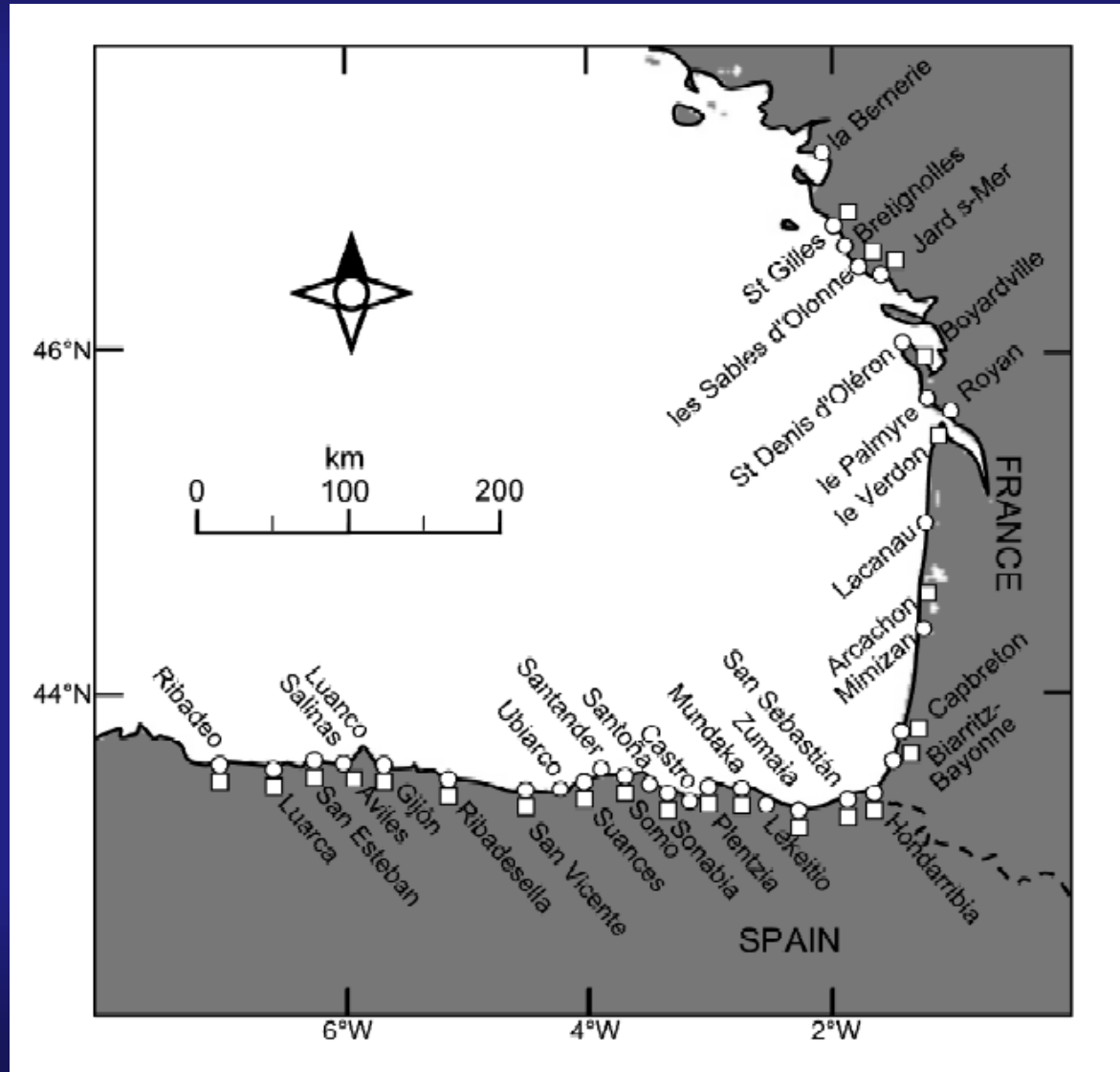
Se espera que la calcificación de los arrecifes de coral sufra una reducción entre el 10 y el 30% entre el 10 y el 30%

CO₂ and Temperature Stresses on Coral Reefs

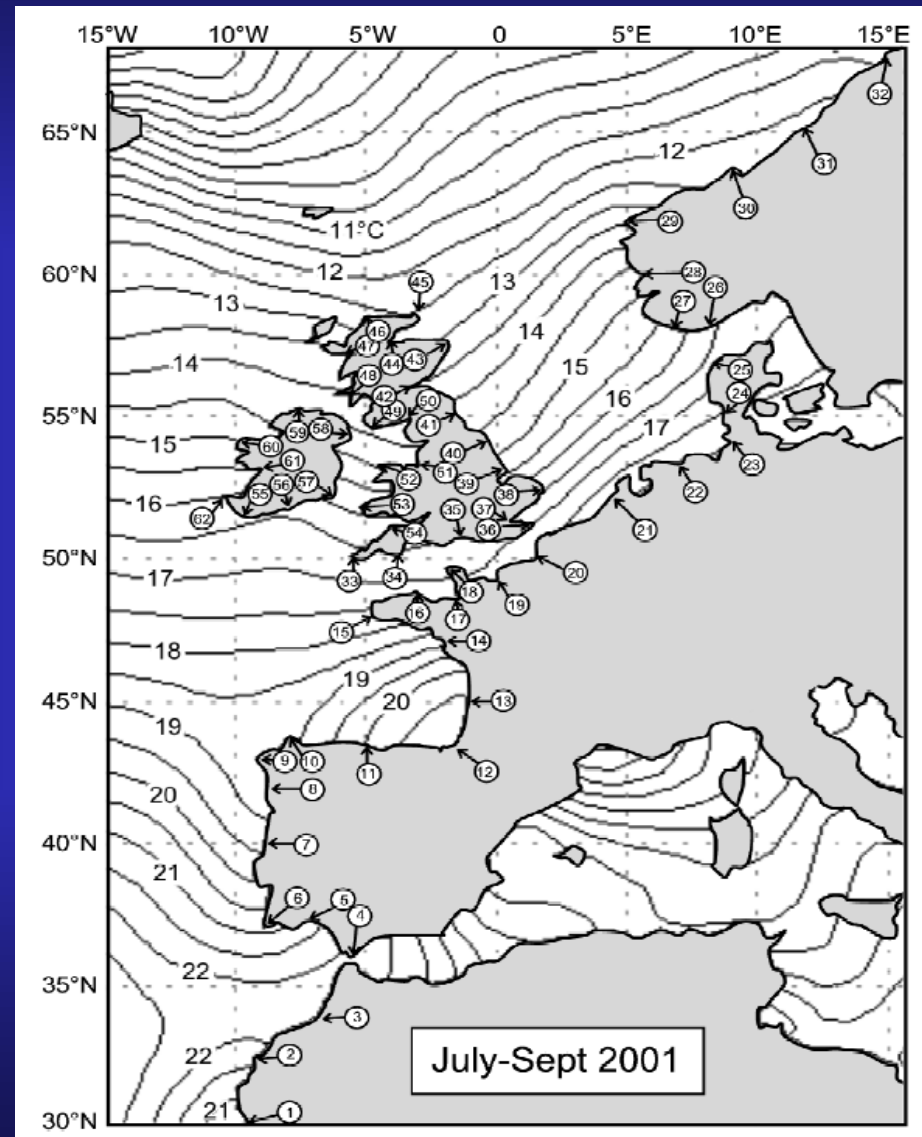


Cambios en los límites de distribución de las comunidades

Cambios en el Golfo de Vizcaya (Alcock, 2003)



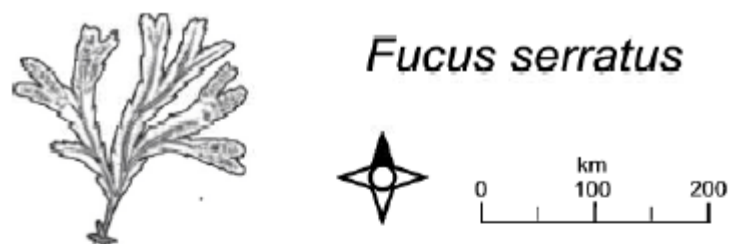
Variabilidad térmica en el Golfo de Vizcaya (Alcock, 2003)



Fucus serratus



Cambios en la distribución de *Fucus serratus*



Fucus serratus

a. 1895



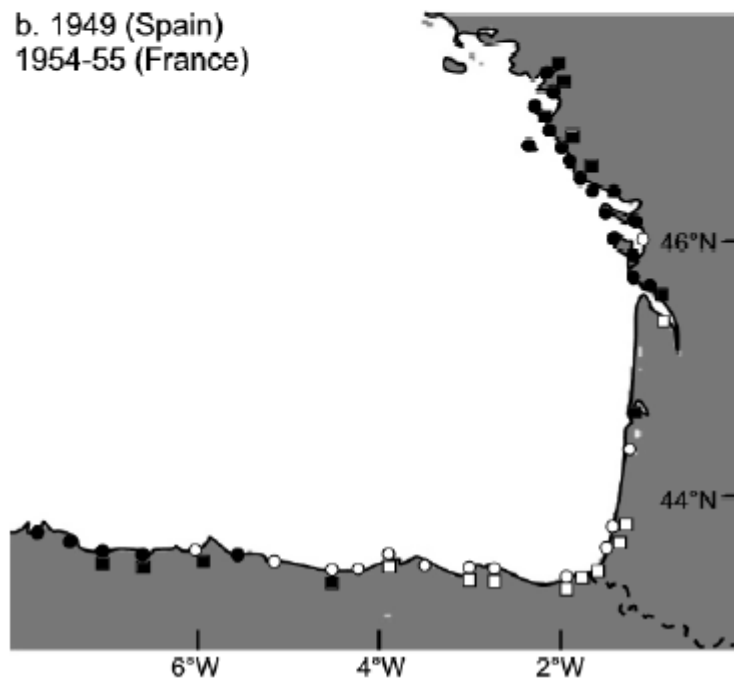
c. 1979-81



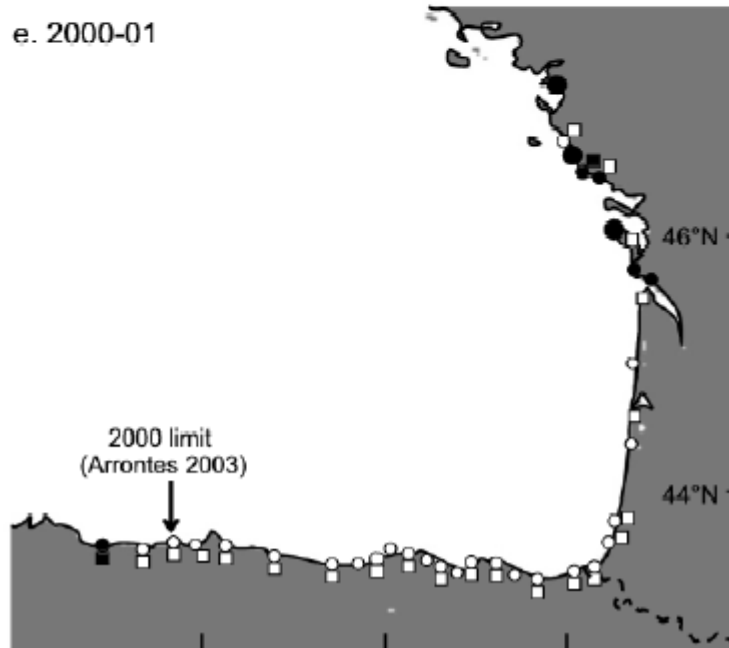
d. 1994-96



b. 1949 (Spain)
1954-55 (France)



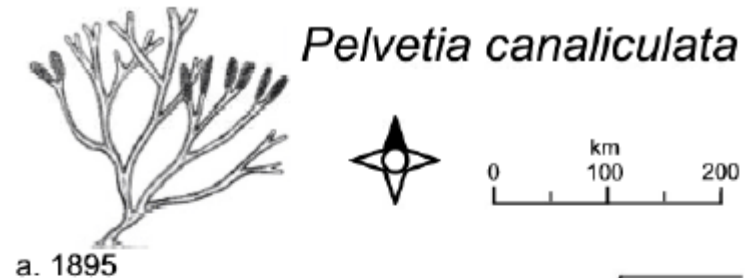
e. 2000-01



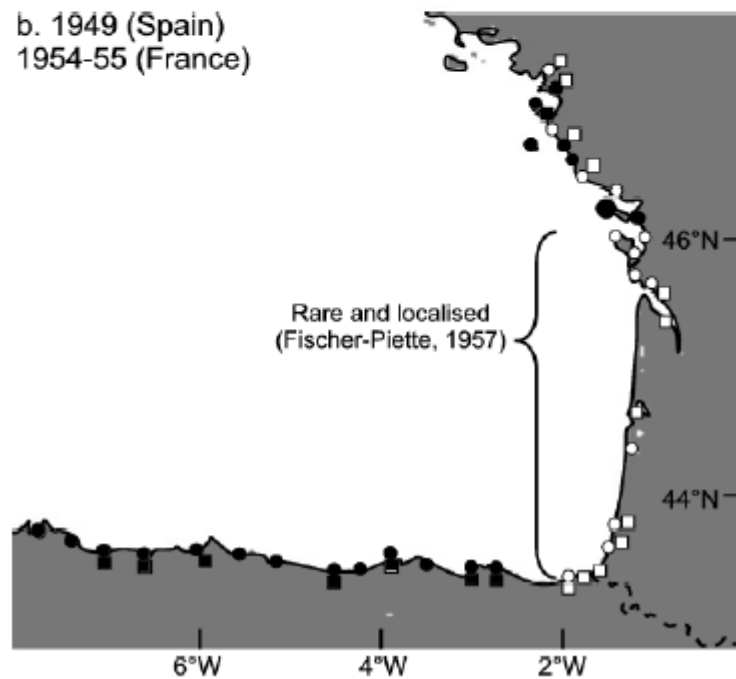
Pelvetia canaliculata



Cambios en la distribución de *Pelvetia canaliculata*



b. 1949 (Spain)
1954-55 (France)



c. 1979-81

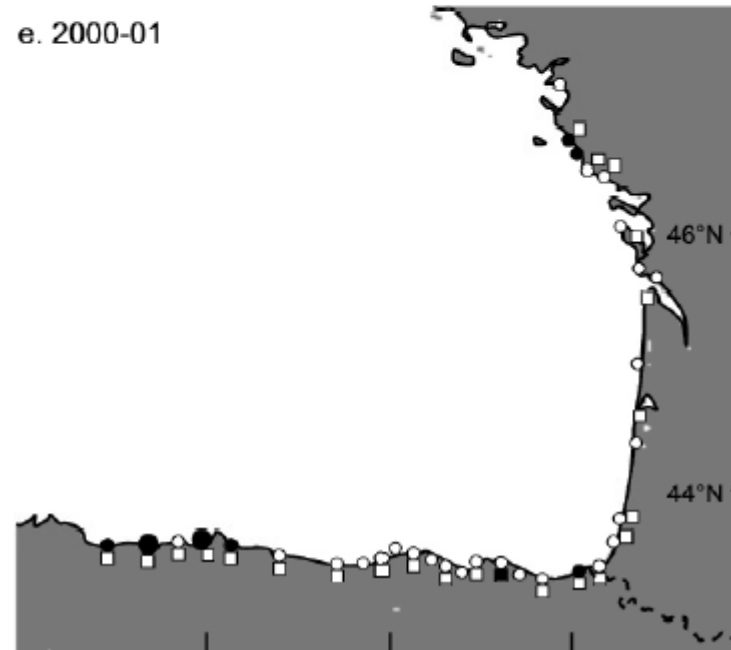


d. 1994-96



1992 observation
(Hawkins, pers. comm.)

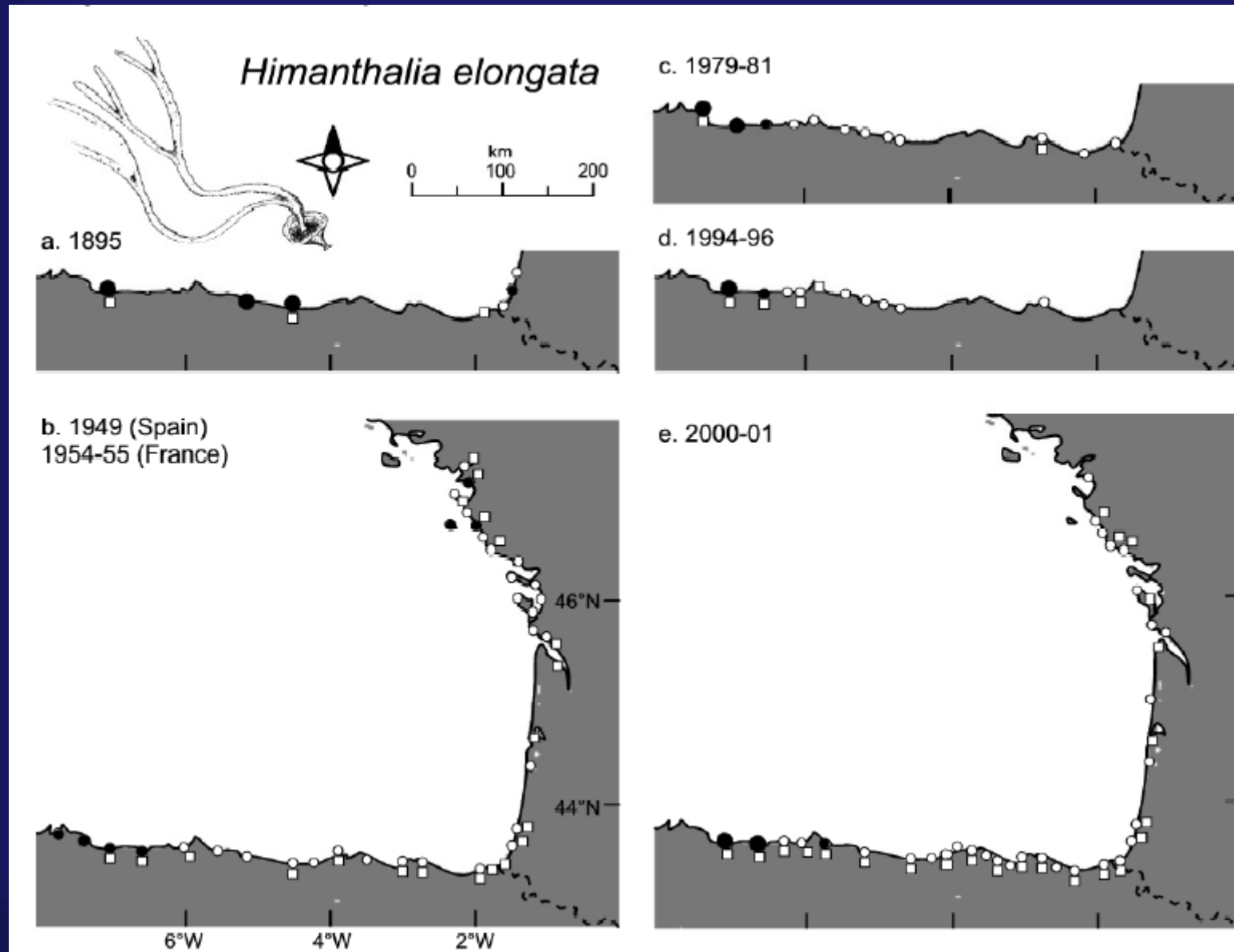
e. 2000-01



Himanthalia elongata



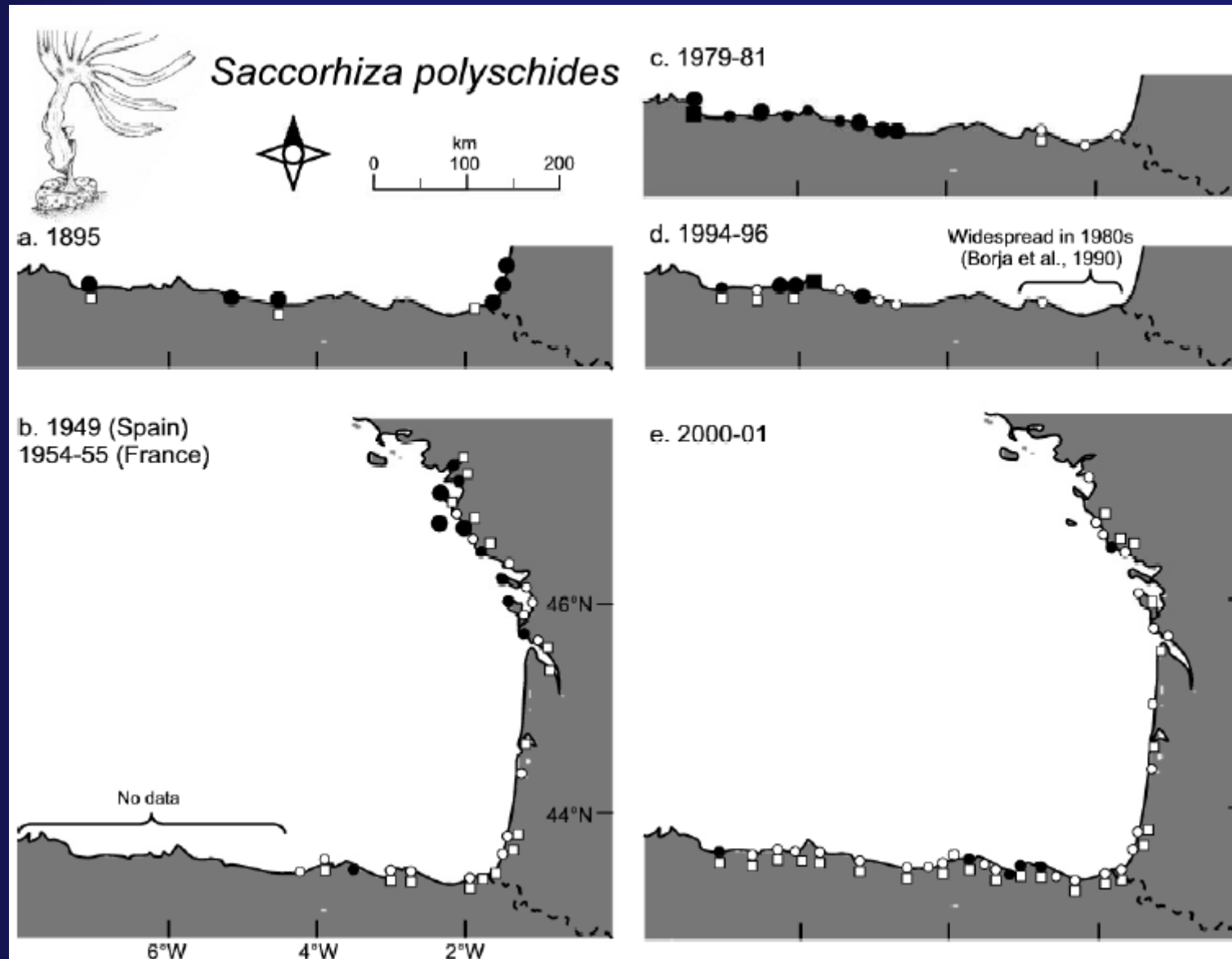
Cambios en la distribución de *Himanthalia elongata*



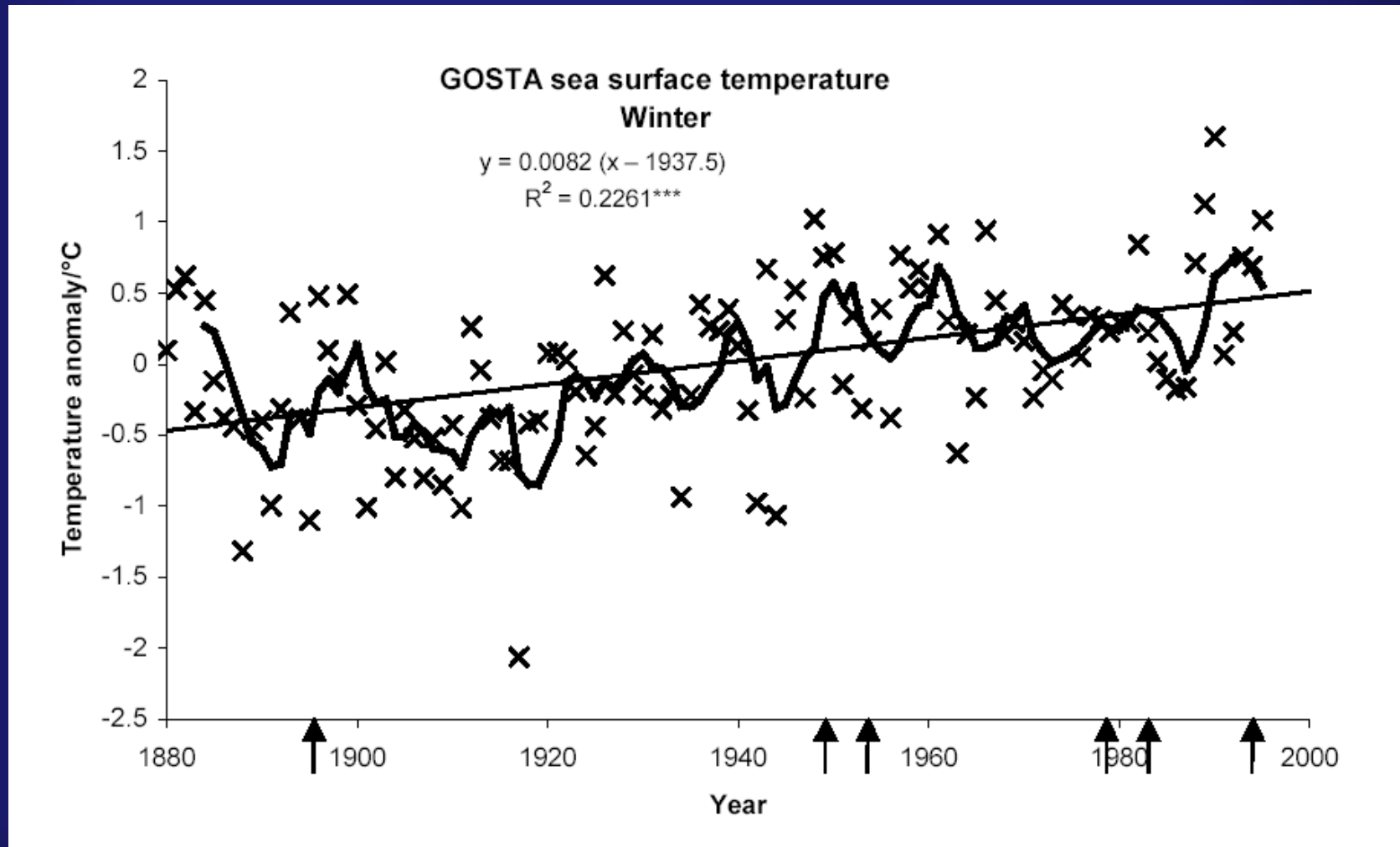
Saccorhiza polyschides



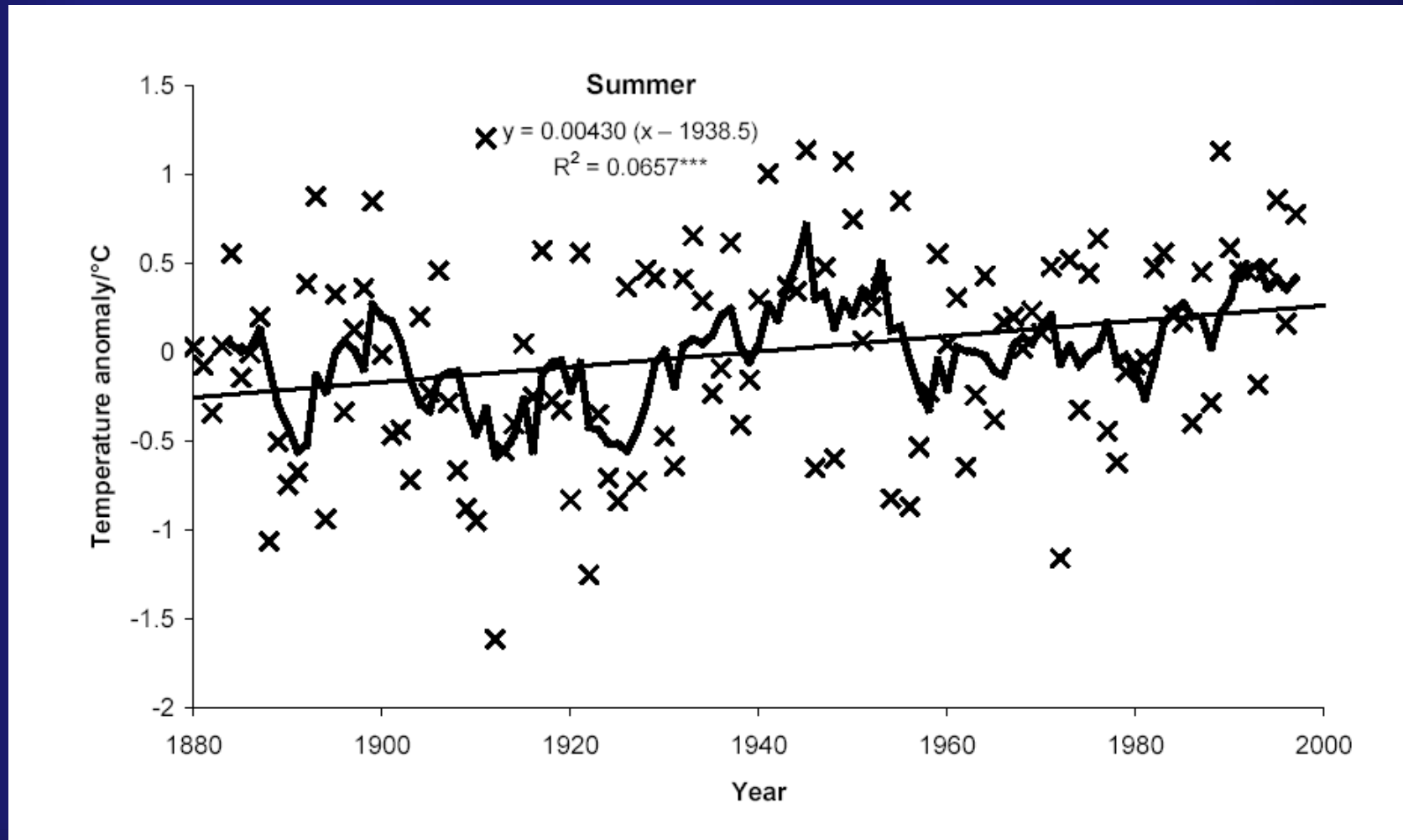
Cambios en la distribución de *Saccorhiza polyschides*



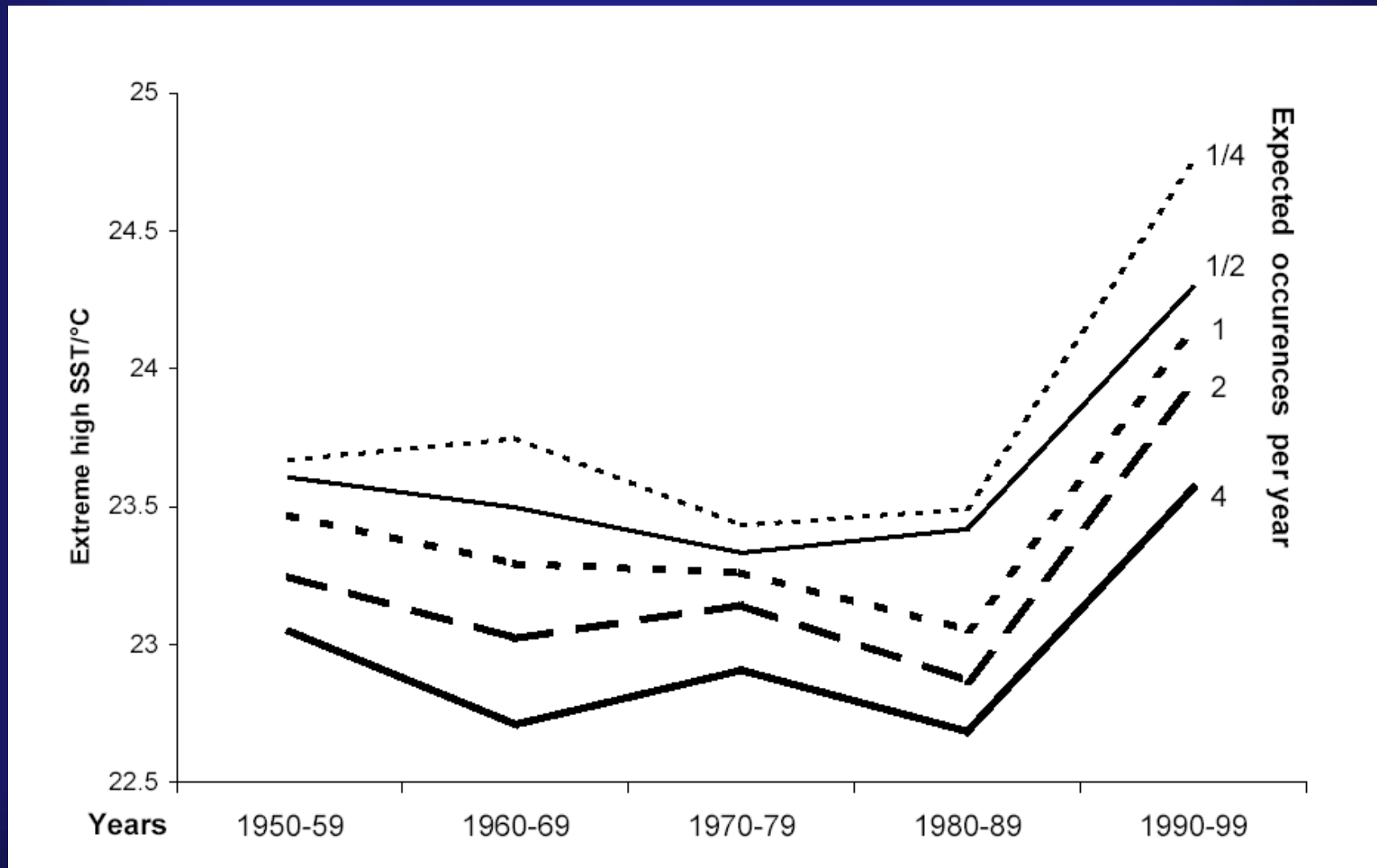
Las series temporales de las temperaturas de invierno en el Golfo de Vizcaya indican un calentamiento de 0.82 °C por siglo



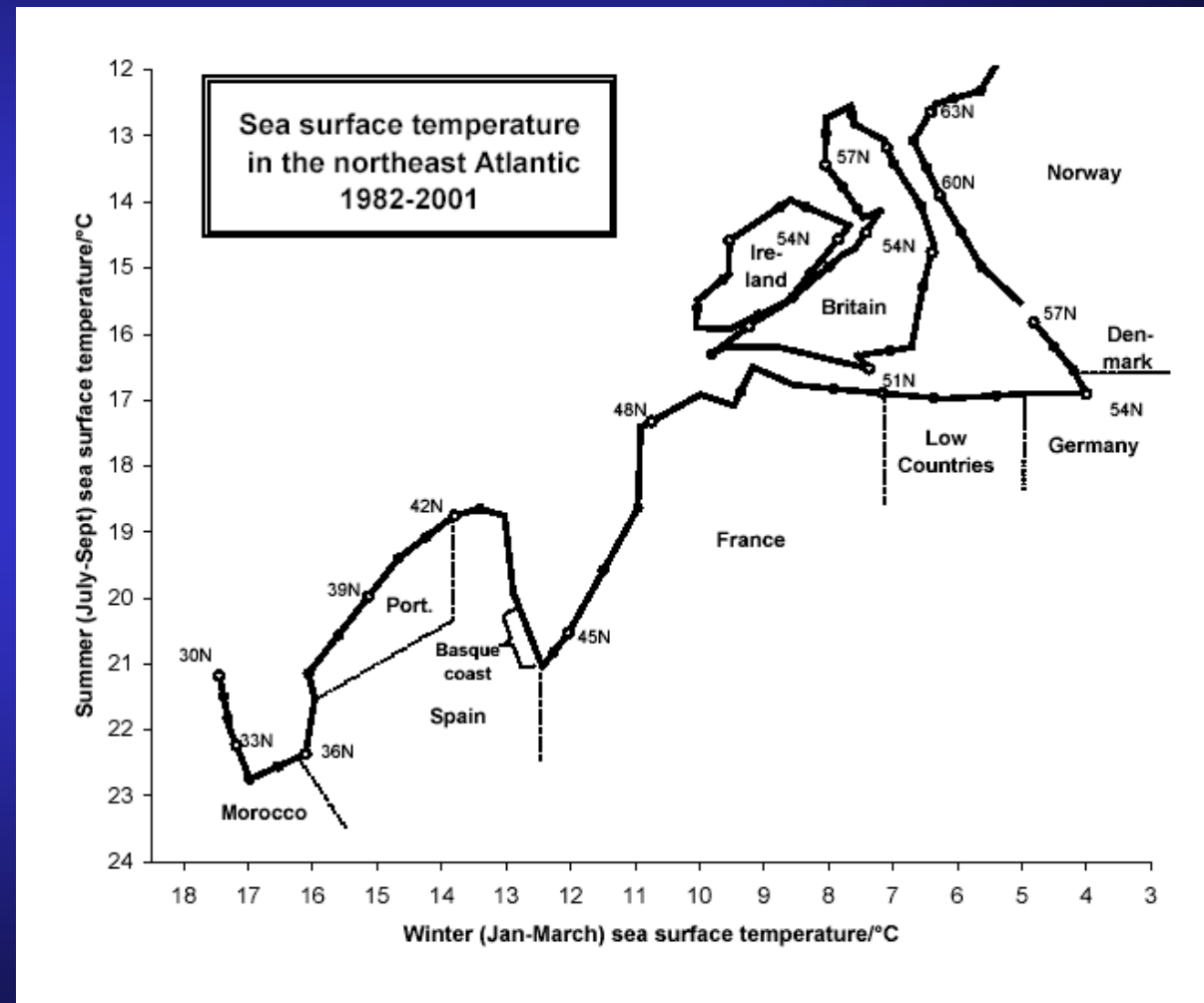
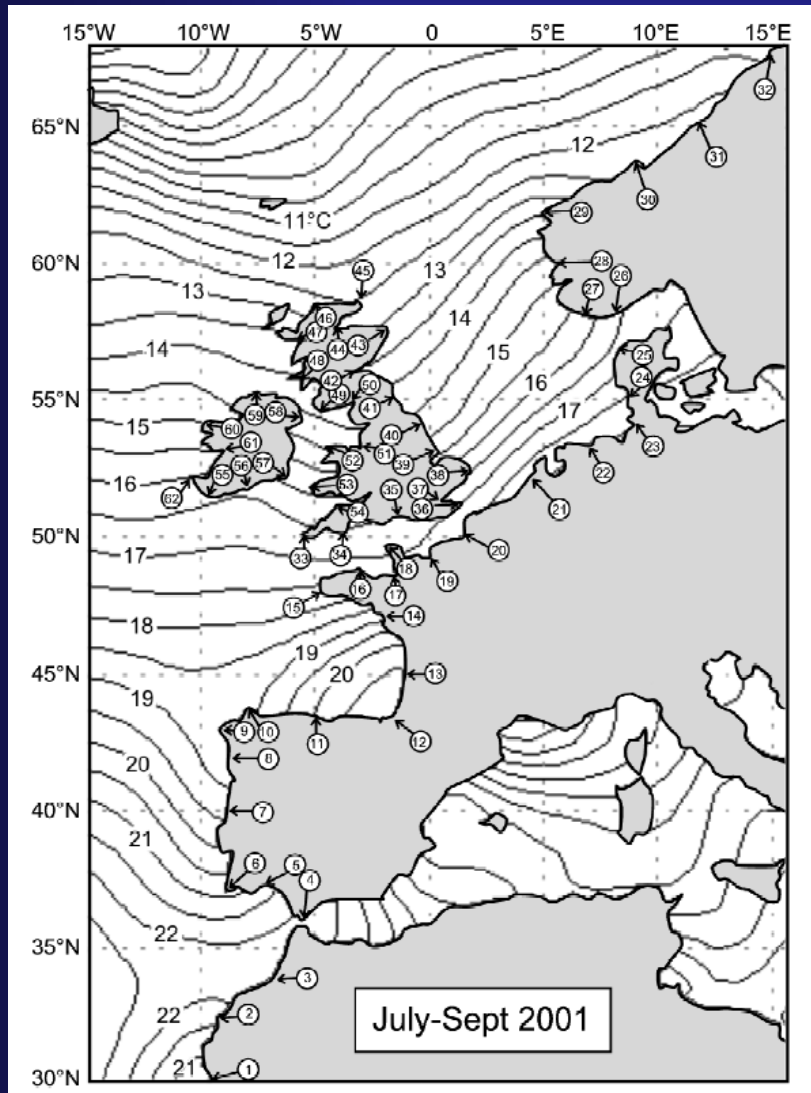
Las series temporales de las temperaturas de verano en el Golfo de Vizcaya indican un calentamiento de 0.4 °C por siglo



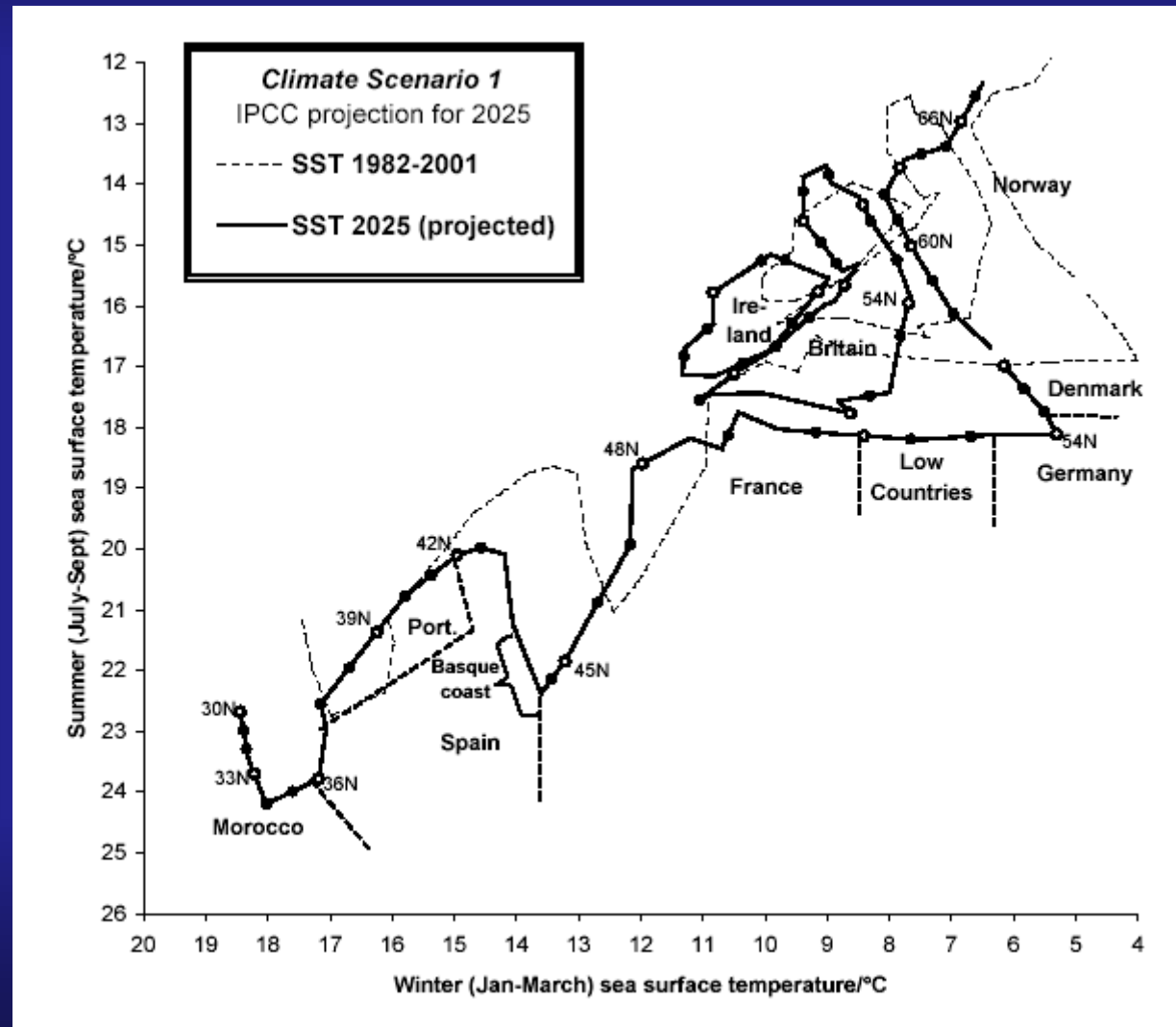
La frecuencia de valores extremos de temperatura del mar ha aumentado drásticamente en los últimos 20 años



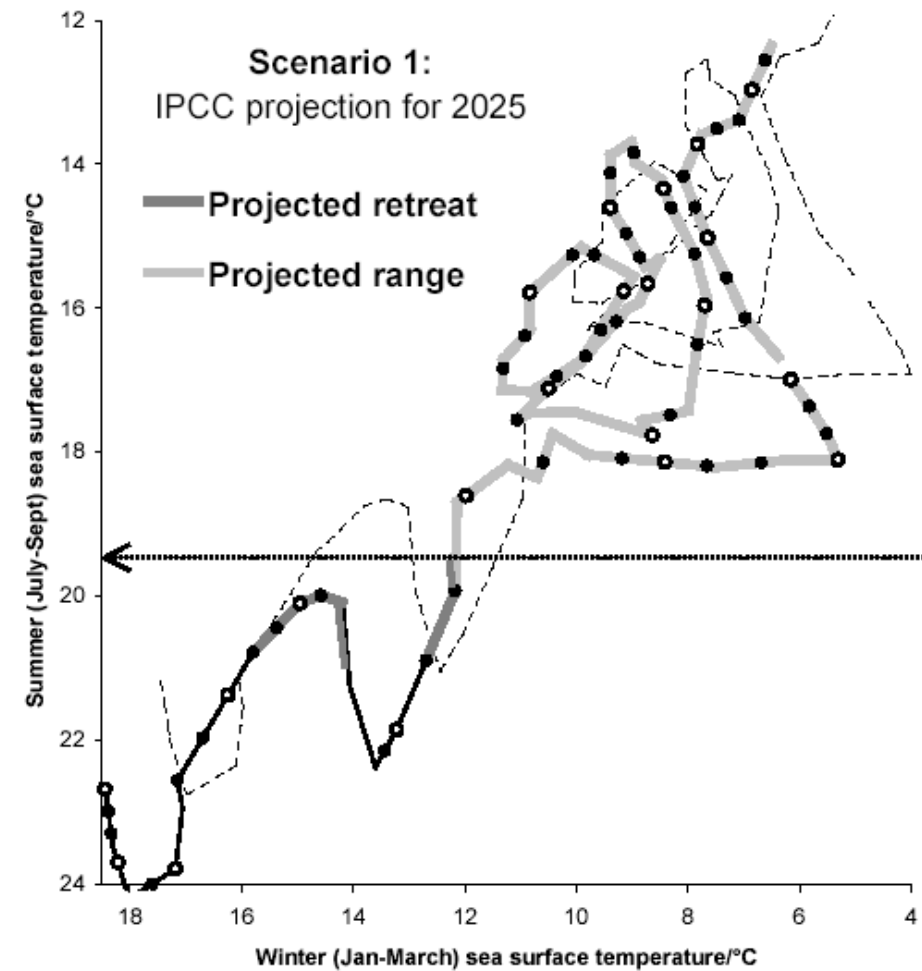
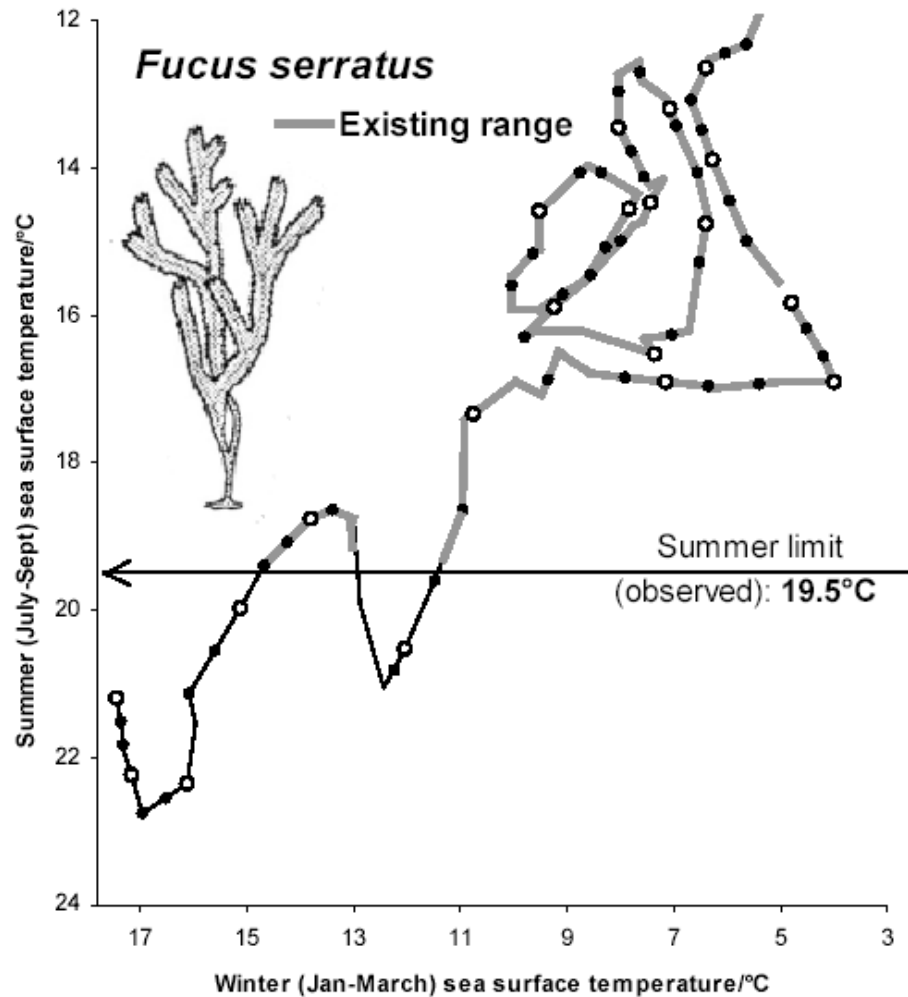
Cambios en los límites de distribución: ¿qué cambios se prevén en el futuro?



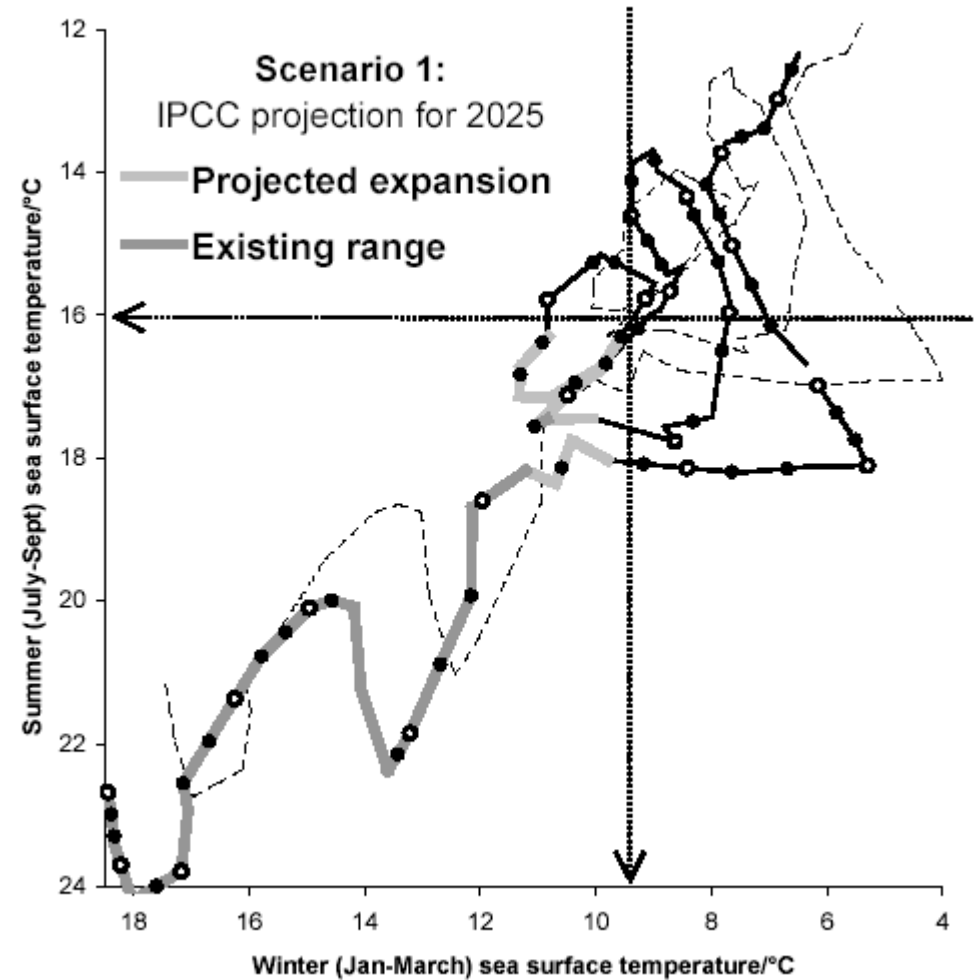
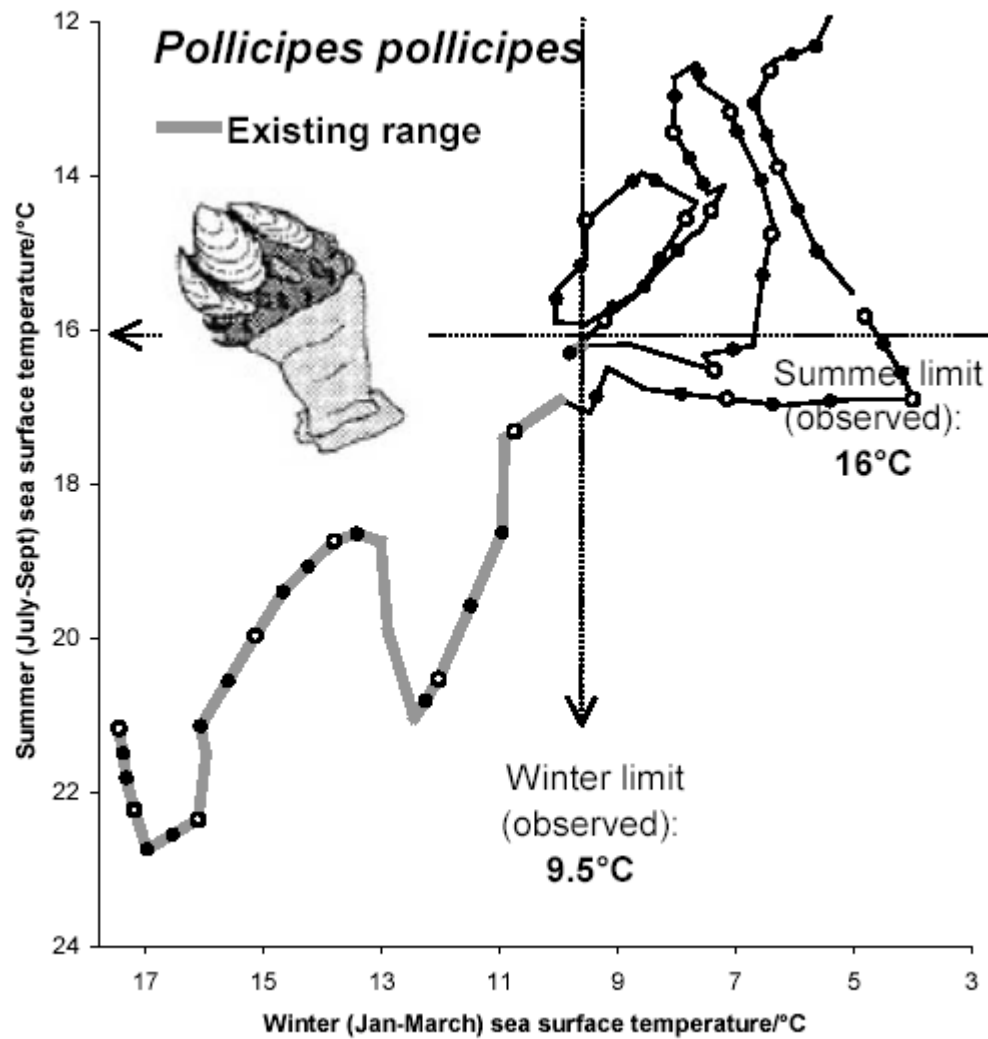
El nuevo escenario para el año 2025



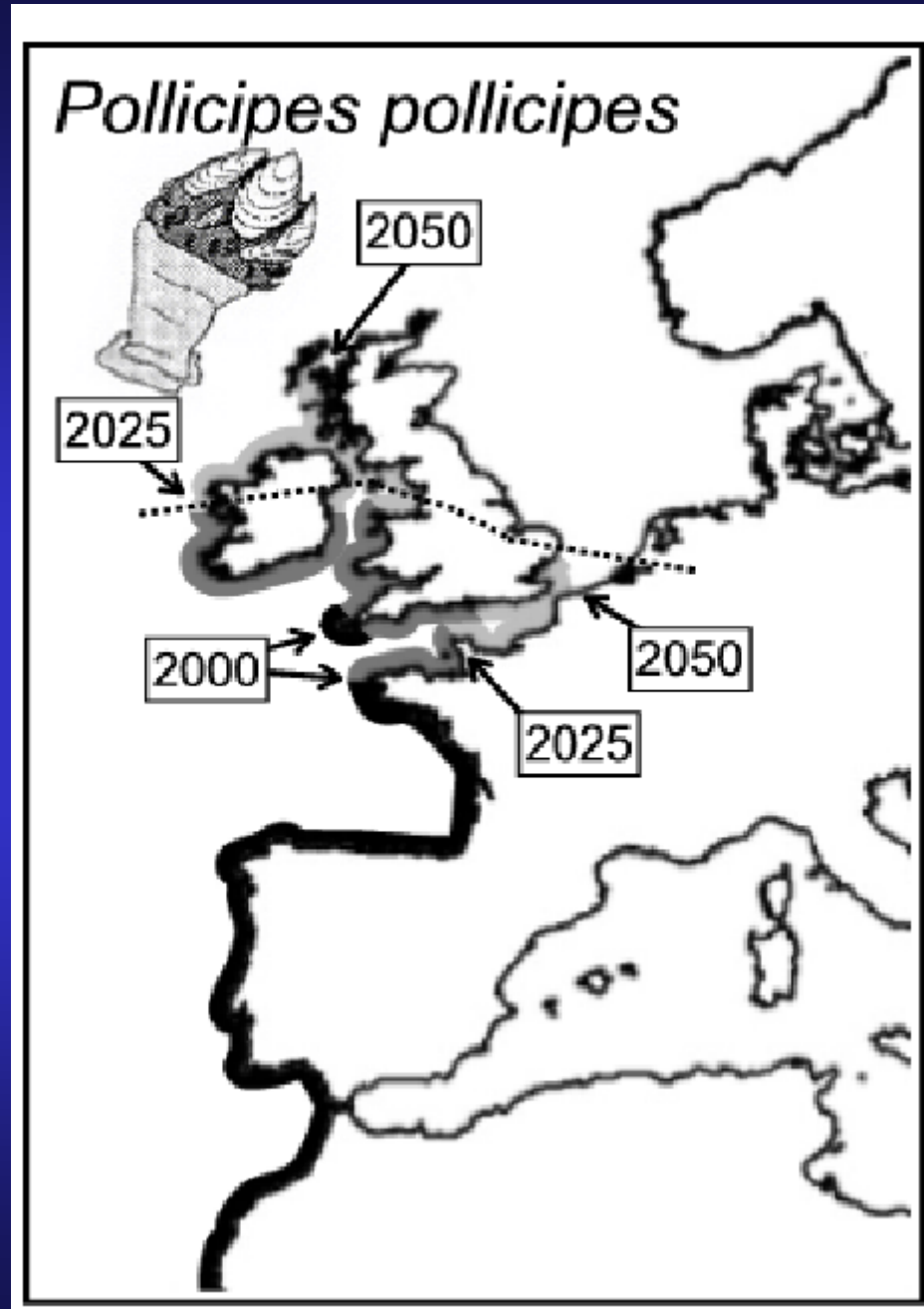
Cambios en los límites de distribución de *Fucus serratus*

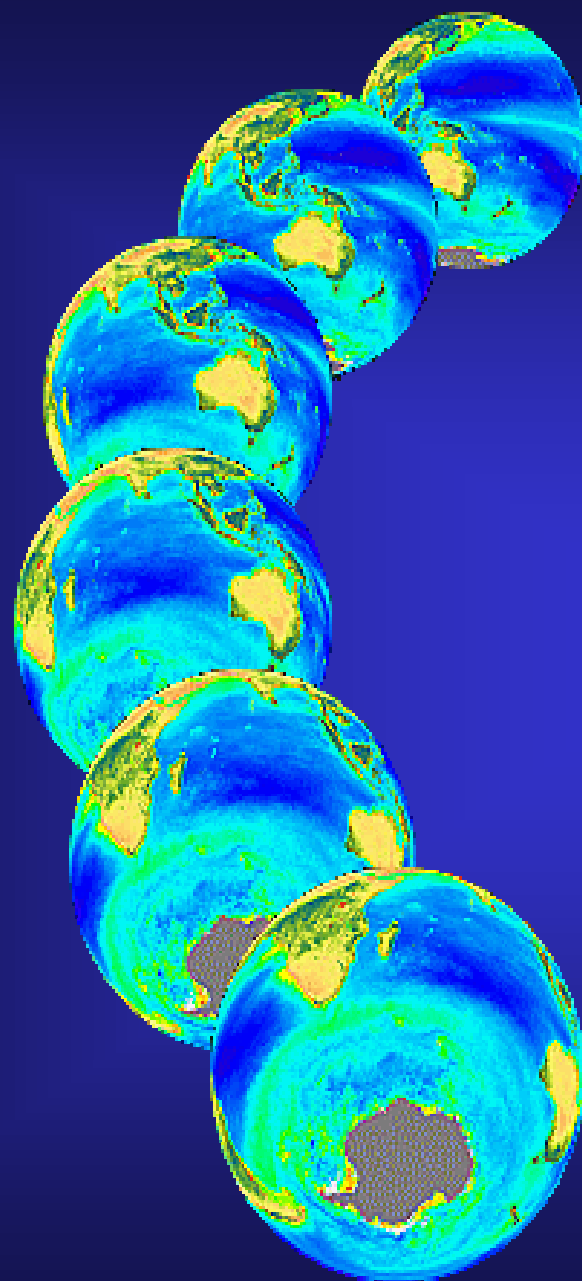


Cambios en los límites de distribución de *Pollicipes pollicipes*



Cambios en los límites de
distribución de *Pollicipes*
pollicipes





FIN

